

KfK 5149  
Mai 1993

# **Auslegung und Bau einer Typ- und Serienprüfanlage für Filterelemente der Klasse S für den Einsatz in Lüftungsanlagen deutscher Kernkraftwerke**

**W. Kuhn, M. Fronhöfer, M. Neuberger, J. Wilhelm  
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik  
Projekt Nukleare Sicherheitsforschung**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



**Kernforschungszentrum Karlsruhe**  
**Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik**  
**Projekt Nukleare Sicherheitsforschung**

**KfK 5149**

**Auslegung und Bau einer Typ- und Serienprüfanlage**  
**für Filterelemente der Klasse S**  
**für den Einsatz in Lüftungsanlagen deutscher Kernkraftwerke**

**W. Kuhn, M. Fronhöfer, M. Neuberger, J. Wilhelm**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe**

Als Manuskript gedruckt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

## **Auslegung und Bau einer Typ- und Serienprüfanlage für Filterelemente der Klasse S für den Einsatz in Lüftungsanlagen deutscher Kernkraftwerke**

Schwebstofffilterelemente der Klasse S bilden in kerntechnischen Anlagen häufig einen Teil der letzten Barriere zwischen den möglicherweise kontaminierten Bereichen und der Umgebung. Ihr Versagen kann zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen führen.

Die Empfindlichkeit der verwendeten Filtermedien und die Problematik der Herstellung der in der Kerntechnik gebräuchlichen Schwebstofffilter der Klasse S führt zu wesentlichen Unterschieden der Qualität der auf dem Markt angebotenen S-Filter. Die während des Betriebes eintretende Alterung der einzelnen Filterbestandteile kann die Belastbarkeit des gesamten Filters erheblich reduzieren. Der Anfall an defekten S-Filtern, der nach Beendigung des betrieblichen Einsatzes festgestellt wurde, ist relativ hoch.

Um den von S-Filtern geforderten Abscheidegrad über eine ausreichende Betriebszeit und unter Störfallbedingungen gewährleisten zu können, ist eine Qualitätskontrolle durchzuführen. Die Typprüfung des in der Kerntechnik einzusetzenden S-Filters muß eine Reihe von Anforderungen einschließen, die über die Belastungen durch den Nennvolumenstrom bei üblichen Raumlufumbedingungen hinausgeht. Diese Anforderungen wurden in einer besonderen Typprüfung (DIN 25 414) zusammengefaßt, deren Bestehen zur Voraussetzung für den Einsatz von S-Filtern in kerntechnischen Anlagen gemacht werden sollte. Darüber hinaus sollten stichprobenartig Prüfungen einzelner S-Filter aus Produktionsserien durchgeführt werden, um einen angemessenen Qualitätsstandard auf Dauer voraussetzen zu können.

Es war daher dringend erforderlich, die in der DIN 25 414 beschriebenen Anforderungen der Typprüfung unter Erhalt der Aussagekraft soweit zu verändern, daß sie mit einer wenig aufwendigen und in den Ausmaßen kleinen Typ- und Serienprüfanlage realisiert werden können. Eine entsprechende Anlage ist aufgrund der vorliegenden Prüferfahrungen entwickelt, errichtet und erprobt worden.

Die Anforderungen dieser Typprüfung schließen Sicherheitszuschläge ein, die eine Filterfunktion auch unter Störfallbedingungen gewährleisten. Dazu gehört die Beständigkeit gegen Feuchte, Temperatur und Druckbelastung (Differenzdruck zwischen Roh- und Reinluftseite).

In der ausgeführten Anlage können Typ- und Serienprüfungen für Filterelemente der Standardausführungen 610x610x292 mm und 762x610x292 mm bei Volumenströmen bis zu 3000 m<sup>3</sup>/h durchgeführt werden. Durch länger andauernde Einwirkung von Tropfenaerosolen auf das S-Filter steigt der Differenzdruck über das Filter bei Nennvolumenstrom schnell an. Die Belastbarkeit eines S-Filters ist nicht nur abhängig von den Parametern Nebelnässe, Beladung und Anströmgeschwindigkeit, sondern im wesentlichen zeitabhängig. Ein Prüfdifferenzdruck von 5 kPa über eine Haltezeit von 4 Stunden in nebelhaltiger Luft wurde festgesetzt. Dieser wurde in Versuchen ermittelt, wobei die geforderte Belastbarkeit der S-Filter entsprechend gültiger DIN 25 414 als Vergleich herangezogen wurde.

# **Design and Construction of a Type Testing and Production Test Facility for HEPA Filters to be Installed in Ventilation Systems of German Nuclear Power Plants**

## **Abstract**

High-efficiency particulate air filters (HEPA filters) in nuclear plants frequently constitute part of the last barrier separating potentially contaminated areas from the environment. Their failure may cause radioactive substances to be released.

The sensitivity of the filter media employed, and the problems associated with manufacturing the HEPA filters normally used in nuclear plants, result in considerable differences in the quality of commercial HEPA filters. Aging of filter components during operation may greatly reduce the loading capacity of the entire filter. A relatively large number of HEPA filters were found to be defective at the end of service life.

In order to be able to guarantee the removal efficiency required of HEPA filters over a sufficient length of service life and under accident conditions, quality control measures must be introduced. Type tests of the HEPA filters to be used in nuclear plants must include a number of criteria beyond the loads imposed by the rated volumetric flow rate under the usual room air conditions. These criteria have been combined in a special type test (DIN 25 414), and passing this test should be made a prerequisite for the use of HEPA filters in nuclear plants. In addition, random inspections of production HEPA filters should be carried out to allow an adequate standard of quality to be guaranteed for a long time.

These considerations made it urgently necessary to modify the type testing requirements contained in DIN 25 414, while not changing their essence, in such a way that they could be met in a not overly sophisticated, small type testing and production test facility. A facility meeting these objectives has been developed, built and tested on the basis of existing test experience.

The criteria to be met in type tests incorporate safety margins to ensure reliable filter functioning also under accident conditions. These factors include stability under moisture, temperature and pressure loads (pressure drop between the unfiltered air and clean air sides).

In the facility as built, type tests and production tests of filter elements of the 610x610x292 mm and 762x610x292 mm standard versions at volumetric flow rates of up to 3000 m<sup>3</sup>/h can be carried out. As a result of the prolonged impact of droplet aerosols on the HEPA filter, the pressure drop across the filter will rise quickly at the rated volumetric flow rate. It depends not only on the liquid water content, loading, and face velocity as parameters, but is mainly dependent on the time period of reaction with the water. A test pressure drop of 5 kPa over a holding time of four hours in foggy air was postulated. This has been determined in experiments in which the required pressure drop of the HEPA filters as specified in the valid DIN standard 25 414 was used for comparison.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Aufbau von Schwebstofffiltern der Klasse S	1
3.	Begründung einer zusätzlichen Typprüfanlage zur Ergänzung der DIN 24 184	2
4.	Belastbarkeit durch Feuchte, Temperatur und Differenzdruck	3
4.1	Einwirkung hoher Feuchte	3
4.2	Einwirkung erhöhter Temperatur	3
4.3	Einwirkung erhöhten Differenzdruckes	4
5.	Bestehende Normen	4
6.	Verfügbarkeit von Prüfanlagen	6
7.	Auslegung der Typprüfanlage	7
7.1	Prüfanforderungen und Konzeption der Typprüfanlage	7
7.2	Erhöhung des Differenzdruckes durch Filterbeladung	7
7.3	Schadensmechanismen an Schwebstofffiltern bei trockener und feuchter Belastung	9
7.4	Festlegen geeigneter Prüfbedingungen zum Bau einer transportablen Prüfeinheit	10
8.	Anlagenkonzeption	11
8.1	Anforderungen an die Konzeption	11
8.2	Ausgeführte Anlage	11
8.3	Regelung zum Halten des Prüfdifferenzdruckes	14
9.	Durchgeführte Filterprüfungen	16
9.1	Beschreibung des Prüfverfahrens	16
9.2	Beschreibung der einzelnen Prüfungen	16

10.	Ergebnisse der Filterprüfung	19
10.1	Vergleich von Belastungsprüfungen in trockener Luft und in feuchter Luft nach vorgeschlagenem Prüfverfahren	19
10.2	S-Filter, 5 kPa Differenzdruckbelastung feucht nach vorgeschlagenem Typprüfverfahren bestanden	21
10.3	S-Filter, 5 kPa Differenzdruckbelastung feucht nach vorgeschlagenem Typprüfverfahren nicht bestanden	
10.4	Hochfestes S-Filter, über 36 Stunden in feuchter Luft geprüft	22
11.	Anhang	24
11.1.	Zum Verhalten von Schwebstofffiltern bei Durchströmung mit nebelhaltiger Luft	24
11.1.1	Einbaulage	24
11.1.2	Beladungszustand	25
11.1.3	Versuchstemperatur	26
11.1.4	Anströmgeschwindigkeit	27
11.1.5	Nebelnäse	29
11.2.	Zum Verhalten von hochfesten Schwebstofffiltern - Typ KfK - bei Durchströmung mit nebelhaltiger Luft	32
11.2.1	Unterschiedliche Abstandshalter	32
11.2.2	Beladungszustand	33
11.2.3	Nebelkonzentration	34
11.3.	Ölfadentestgerät	35
12.	Literatur	36



## 1. Einleitung

Die Schwebstofffilterelemente der Klasse S (S-Filter) erfüllen in kerntechnischen Anlagen Aufgaben innerhalb des Barrierenkonzeptes. Sie bilden häufig einen Teil der letzten Barriere zwischen den möglicherweise kontaminierten Bereichen und der Umgebung. Ihr Versagen kann zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen führen.

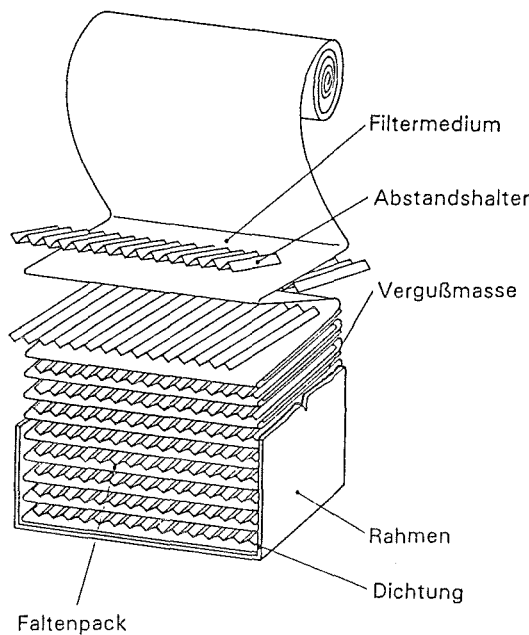
Das Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik II untersuchte in Arbeiten, die vom BMU gefördert wurden, die Versagensgrenzen der handelsüblichen S-Filter. Dabei stellten sich sehr niedrige Grenzen für die Belastbarkeit durch Differenzdruck heraus, die außerdem durch Feuchteinfluß weiter herabgesetzt wurden. Aufgrund der Erkenntnisse aus diesen Arbeiten /1/ wurden anschließend hochfeste S-Filter mit den im folgenden Kapitel angegebenen üblichen Standard-Abmessungen entwickelt /2/. Im Laufe der Arbeiten wurde ein Prüfverfahren vorgeschlagen, daß die Anforderungen an Differenzdruck-, Temperatur- und Feuchtebelastbarkeit festlegte und in die KTA-Regel 3601 bzw. die DIN 25 414 eingebracht wurde. Die in dieser Regel bzw. Norm geforderte Differenzdruckbelastbarkeit von 10 kPa in trockener Luft in Verbindung mit dem dazu festgelegten Zeitverlauf für Anstieg, Konstanthaltung und Abbau des über das S-Filter anliegenden Druckes kann allerdings nur in einer sehr aufwendigen (auf Dauer nur für Entwicklungszwecke zur Verfügung stehenden) Versuchsanlage überprüft werden.

Die vom BMU geförderten Arbeiten wurden daher mit der Erstellung eines Vorschlages für ein Typprüfverfahren abgeschlossen, das sich mittels einer vergleichsweise kleinen, kostengünstigen Prüfanlage durchführen läßt.

Die Begründung für das vorgeschlagene Prüfverfahren, die Konzeption und Ausführung der Prüfanlage und die Angabe beispielhafter Prüfergebnisse bilden den Inhalt des Berichtes.

## 2. Aufbau von Schwebstofffilterelementen der Klasse S

Die in kerntechnischen Filteranlagen eingesetzten S-Filter bestehen in der Regel aus einem ca. 0,4 mm dicken, durch einen Binder gefestigten Vlies aus feinsten Glasfasern, das unter Einschluß von Separatoren zu einem Faltenpack gefaltet und mit einer Vergußmasse im Filterrahmen befestigt und abgedichtet wird. Der mit einer Frontdichtung versehene Filterrahmen, meist aus Sperrholz, hat bei der üblichen Standardausführung die Außenmaße 610 x 610 x 292 mm bzw. 762 x 610 x 292 mm und einen Nenndurchsatz von 1700 m<sup>3</sup>/h bzw. 3000 m<sup>3</sup>/h. Der nachzuweisende Mindestabscheidegrad beträgt 99,97 % für ein Partikelspektrum mit einem hohen Anteil an Partikeln mit Durchmessern zwischen 0,3 µm und 0,5 µm /3/. Bild 1 zeigt den Aufbau eines S-Filteres.



**Bild 1:** S-Filter

### **3. Begründung einer zusätzlichen Typprüfung zur Ergänzung der DIN 24 184**

Bereits aufgrund der Eignungsprüfung (Ölfadentest) werden wiederholt S-Filter wegen kleiner, nadelstichähnlicher Leckstellen vom Einsatz ausgeschlossen.

Der Anfall an defekten S-Filtern, der nach Beendigung des betrieblichen Einsatzes festgestellt wurde, ist relativ hoch. In der Literatur findet man z. B. Angaben von 14 % /5/ und 15 % /6/. Insbesondere ist auch die hohe Empfindlichkeit gegenüber einer länger andauernden Einwirkung von sehr hoher Luftfeuchte und von Tropfenaerosolen sowie die geringe Differenzdruckbeständigkeit zu erwähnen.

Die Empfindlichkeit der verwendeten Filtermedien und die Problematik der Herstellung der in der Kerntechnik gebräuchlichen Schwebstofffilter der Klasse S führt zu wesentlichen Unterschieden der Qualität der auf dem Markt angebotenen S-Filter. Die während des Betriebes eintretende Alterung der einzelnen Filterbestandteile kann die Belastbarkeit des gesamten Filters erheblich reduzieren /7/.

Um den von S-Filtern geforderten Abscheidegrad über eine ausreichende Betriebszeit und unter Störfallbedingungen gewährleisten zu können, ist eine Qualitätskontrolle durchzuführen, die durch Prüfungen des Durchlaßgrades des filternden Materials und des Schwebstofffilterelementes sowie den Nachweis der Leckfreiheit (beides in DIN 24 184) /3/ nicht ausreichend abgedeckt

wird. Die Typprüfung des in der Kerntechnik einzusetzenden S-Filters muß eine Reihe von Anforderungen einschließen, die über die Belastungen durch den Nennvolumenstrom bei üblichen Raumluftbedingungen hinausgeht. Diese Anforderungen wurden in einer besonderen Typprüfung (DIN 25 414) /4/ zusammengefaßt, deren Bestehen zur Voraussetzung für den Einsatz von S-Filtern in kerntechnischen Anlagen gemacht werden sollte. Darüber hinaus sollten stichprobenartig Prüfungen einzelner S-Filter aus Produktionsserien durchgeführt werden, um einen angemessenen Qualitätsstandard auf Dauer voraussetzen zu können.

Die Anforderungen dieser Typprüfung schließen Sicherheitszuschläge ein, die eine Filterfunktion auch unter Störfallbedingungen gewährleisten. Dazu gehört die Beständigkeit gegen Feuchte, Temperatur und Druckbelastung (Differenzdruck zwischen Roh- und Reinluftseite). Eine Typprüfung muß eine angemessene Belastbarkeit durch diese Einflußgrößen nachweisen.

#### **4. Belastbarkeit durch Feuchte, Temperatur und Differenzdruck**

##### **4.1. Einwirkung hoher Luftfeuchte**

Extrem hohe Luftfeuchten bzw. Tropfenaerosole können z. B. durch Taupunktunterschreitung (Beaufschlagung kalter Lüftungs- und Filteranlagen), einen sehr hohen Dampfanteil der Filterzuluft (z. B. Abgas der Stopfbuchsabsaugung), Ausfall von Kondensatoren und von Heizern vor Filteranlagen sowie bei Störfällen mit Kühlmittelverlust und Bränden (Brandgut, Löschmittel) auftreten.

Hohe Luftfeuchte (> 90 % relative Feuchte) und Nässe in der Filterzuluft führen durch Einlagerung von Wasser in das Faservlies nach längerer Einwirkungsdauer zu einer starken Reduktion der Reißfestigkeit des Filtermediums. Außerdem baut sich ein mit steigender Benetzbarkeit des Filtermediums ansteigender Strömungswiderstand auf. Beide Effekte wirken in Richtung Ribbildung. Zusätzlich tritt eine Auflockerung des Faltenpacks durch Verschiebungen und Reibstellen ein, und u.U. wird auch Eindringen von Separatoren in das Filtermedium ermöglicht. Bei langandauernder Einwirkung von Wasser auf das Filtermedium konnte ein Ablaugen vom Binder festgestellt werden /2,8/. Die genannten Effekte setzten die Belastbarkeit durch erhöhten Differenzdruck stark herab.

##### **4.2 Einwirkung erhöhter Temperatur**

Erhöhte Lufttemperaturen in den Lüftungsanlagen können z. B. bei Bränden und Störfällen mit reduzierter Wärmeabfuhr auftreten. Eine erhöhte Temperatureinwirkung über längere Zeit wirkt sich auf die einzelnen Komponenten unterschiedlich aus /7/. Das Filtervlies kann eine Reduktion im Abscheidegrad erfahren, dessen Ursache das Abdampfen von Binder ist. Der Binder, der die einzelnen Fasern zusammenhält, trägt wesentlich zur Stabilität des Faservlieses bei. Es werden temperaturstabile Filtervliese hergestellt, die bei wesentlich höheren Temperaturen (bis 250 °C)

nach längerer Einwirkung keine Beeinträchtigung in Abscheidegrad und Festigkeit zeigen. Vergußmasse, Rahmen und Dichtungen können bei längerer Einwirkung erhöhter Temperaturen schrumpfen oder verspröden. Dies kann zu Undichtigkeiten oder auch Rissen führen, insbesondere an Stellen, an denen die Materialien mit verschiedenen Wärme-Dehnungs-Koeffizienten miteinander verbunden sind.

### **4.3 Einwirkung erhöhten Differenzdruckes**

Die während des Betriebes unvermeidliche Staubbeladung führt zum Aufsteilen der Druckverlust-Kennlinie, Staub und Nässe zusammen verstärken ihren Einfluß auf den Differenzdruck überproportional. Zusammen mit der Belastung durch Schwingungen, erzeugt durch den Betrieb der Abluft-Ventilatoren, dürften sie für den größten Anteil der beobachteten Schäden an Filtern, die mit nicht mehr als dem Nennvolumenstrom belastet wurden, verantwortlich sein. Hohe Differenzdruckbelastungen in Filteranlagen können durch Brüche druckführender Leitungen, Brände, Explosionen und Einwirkungen von außen auftreten.

Untersuchungen zur Differenzdruck-Belastbarkeit von neuen unbeladenen S-Filtern mit trockener Luft bei Raumtemperatur über Zeitspannen in der Größenordnung Minuten ergaben Schadens-eintritts-Grenzen für handelsübliche S-Filter im Bereich zwischen 4 und 23 kPa. Im nassen Zustand lag die Schadens-eintrittsgrenze (neue Filter, keine Staubbeladung) zwischen 0,4 und 7 kPa. Hochfeste S-Filter zeigten im Bereich der Prüfmöglichkeiten (trocken bis 56 kPa, nass bis 15 kPa) keinerlei Schäden /7/.

## **5. Bestehende Normen**

In der "DIN 24 184, Typprüfung von Schwebstofffiltern, Prüfung mit Paraffinölnebel als Prüfaerosol (Dez. 1990)", wird nur die Prüfung auf Leckfreiheit und Durchlaßgrad verlangt. Außerdem wird der Umfang der kennzeichnenden Beschreibung angegeben; auf zusätzlich geltende Normen wird hingewiesen.

In der "DIN 25 414, Lüftungstechnische Anlagen in Kernkraftwerken (Juni 1991)" sind im Anhang B die besonderen Anforderungen, deren Erfüllung vor Einsatz eines Schwebstofffilter-Types der Klasse S oder R in Kernkraftwerken nachgewiesen werden sollte, aufgeführt. Es werden zusätzlich zur DIN 24184 Anforderungen in Hinsicht Luftfeuchte, Temperatur, Luftbeimengungen, Energiedosis, Rahmen-Dichtmaterial und Anpreßkraft, Differenzdruck, Feuerbeständigkeit, Wasserabstoßung, Konstruktion und Kennzeichnung gestellt. Sie werden in der Tab. I verkürzt wiedergegeben.

Tab. I: Anforderungen für Filtermedien und Filterelemente, Schwebstofffilterelemente nach DIN 25 414

1. Typprüfung nach DIN 24 184 Abscheidegradmessung  
Zeugnisnachweis der verwendeten Komponenten, Messung am verwendeten Filtermedium im nicht eingebautem Zustand  
(besser :Messung am Filterelement im eingebauten Zustand \*\*)
2. Beständigkeit gegen Luftfeuchte  
Längere Einwirkung einer relativen Luftfeuchte von 90% mit kurzzeitiger Taupunktunterschreitung;  
danach muß 1. gelten  
Messung am Filterelement im eingebauten Zustand in spezieller Testanlage \*
3. Temperaturbeständigkeit  
entsprechend herstellungsspezifischer Auslegungstemperatur  
Zeugnisnachweis der verwendeten Komponenten  
(besser : Messung am Filterelement im eingebauten Zustand in spezieller Testanlage \*)
4. Keine Funktionsbeeinträchtigung während des Betriebes  
Nachweis durch Betriebsbewährung  
Messung am Filterelement im eingebauten Zustand\*\* nach 1.
5. Beständigkeit gegen ionisierend Strahlung  
Widerstehen einer Energiedosis von mindestens  $10^4$  Joule/kg ( $10^4$  Gy)  
Zeugnisnachweis der verwendeten Komponenten
6. Alterungsbeständigkeit des Dichtmaterials  
Dichtsitz von Rahmen und Filterelement muß für die Betriebszeit gewährleistet sein  
Zeugnisnachweis der verwendeten Komponenten  
(besser :Messung am Filterelement im eingebauten Zustand \*\*)
7. Beständigkeit gegen Druckbelastung  
Belastungstest des Filterelements in trockener Luft über 2 Minuten mit einem maximalen Differenzdruck von 10 kPa über 1 Minute  
Messung am Filterelement im eingebauten Zustand in spezieller Testanlage \*
8. Beständigkeit gegen Feuer  
Schwerentflammbarkeit nach Klasse K1 und F1 nach DIN 53 438  
Zeugnisnachweis der verwendeten Komponenten
9. Beständigkeit des Filtermediums gegen Wasser (Grad der Imprägnierung)  
Zeugnisnachweis der verwendeten Komponenten
10. Spezielle Konstruktion des Filtergehäuses zur Handhabung des Filters  
Zeugnisnachweis des Herstellers
11. Kennzeichnung der Filterelementen mit Vorgescriebenen Daten  
Zeugnisnachweis des Herstellers

\* Prüfung in spezieller Testanlage, wobei die Grenzbelastung des Filterelements überprüft wird.

\*\* Prüfung vor Ort im eingebauten Zustand

Der Nachweis der gestellten Anforderungen nach DIN 25 414 erfolgt nach unterschiedlichen Verfahren. Ein Teil der Anforderung, der sich auf einzelne Komponenten des Filters bezieht, kann sinnvollerweise durch Zeugnismachweis des Herstellers erfolgen (Punkt 1, 3, 5, 6, 8, 9, 10 und 11). Die Punkte 1, 4 und 6 können im Sinne einer Wiederholungsprüfung neu geprüft werden, wenn das Filterelement in der entsprechenden Lüftungsanlage eingebaut ist. Über eine Vor-Ort-Prüfung, die nach der DIN 25 414 jährlich stattfinden soll, kann die Erfüllung dieser Anforderungen gewährleistet werden. Die Punkte 2, 3 und 7 können nur in gesonderten Prüfanlagen getestet werden.

## **6. Verfügbarkeit von Prüfanlagen**

Eine Prüfung von S-Filtern nach DIN 25 414 kann z. Z. nur im Kernforschungszentrum Karlsruhe durchgeführt werden. Es stehen zwei Großanlagen zur Verfügung. Zur Differenzdruckprüfung wird die Anlage BORA (1 MW Leistung, max. 100.000 m<sup>3</sup>/h Luftdurchsatz, 80 kPa max. erreichbare Pressung, Anlagekosten ca. 1,5 Mio DM), für die Feuchte-Prüfung die Anlage TAIFUN (150 kW Leistung, max. 2000 m<sup>3</sup>/h Luftdurchsatz; 20 kPa max. erreichbare Pressung, Feuchtluft-, Nebel-, Dampf- und Sprühbetrieb, Anlagekosten ca. 2 Mio DM) eingesetzt. Der Betrieb dieser Anlagen, die für Forschungszwecke errichtet wurden, ist kosten- und personalintensiv, ihr weiterer Bestand ist von zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsprogrammen des Kernforschungszentrums abhängig und z. Z. nicht gesichert.

Es war daher dringend erforderlich, die in der DIN 25 414 beschriebenen Anforderungen der Typprüfung unter Erhalt der Aussagekraft soweit zu verändern, daß sie mit einer vergleichsweise wesentlich weniger aufwendigen und in den Ausmaßen bedeutend kleineren Typ- und Serienprüfanlage realisiert werden können. Eine entsprechende Anlage war aufgrund der vorliegenden Prüferfahrungen zu entwickeln, zu errichten und zu erproben.

## 7. Auslegung der Typprüfanlage

### 7.1 Prüfanforderungen und Konzeption der Typprüfanlage

Die Prüfungen von S-Filtern nach DIN 25 414 wurden in Kapitel 5 beschrieben. Durch die Zielsetzung, eine einfache Anlage mit geringem Platzbedarf zu konzipieren, ergeben sich unvermeidliche Auswirkungen auf die zu verwirklichenden Prüfanforderungen.

Versuche an der Anlage BORA, der einzigen Versuchsanlage, die ein Prüfen von S-Filtern über angemessene Versuchszeiten bei hohen Differenzdrücken ermöglicht, zeigen, daß für eine Belastung mit einem Differenzdruck von 10 kPa für ein S-Filter in Standardgröße ein Volumenstrom von ca. 23.000 m<sup>3</sup>/h benötigt wird. Um auch größere Filterelemente von 762 x 610 x 292 mm prüfen zu können, muß ein auf ca. 29.000 m<sup>3</sup>/h erhöhter Volumenstrom erreicht werden. Die benötigte Gebläseleistung ergibt sich zu:

$$L_g = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta} \cdot S$$

L <sub>g</sub>	=	Gebläseleistung
V	=	Volumenstrom (m <sup>3</sup> /s)
Δp	=	Differenzdruck (kPa)
η	=	Wirkungsgrad
S	=	Sicherheitsfaktor für Anlagenwiderstand

Mit η = 0,7 und S = 1,2 wird eine Gebläseleistung von 140 kW benötigt. Die angegebenen hohen Volumenströme bedingen selbst bei Kanalquerschnitten von 0,6 m x 0,6 m noch mittlere Strömungsgeschwindigkeiten von 22 m/s. Dieser Kanalquerschnitt würde außerdem den Bau einer Anlage mit geringem Platzbedarf nicht zulassen, das Gewicht und der Preis für Rohrleitungskomponenten und Armaturen ist sehr hoch.

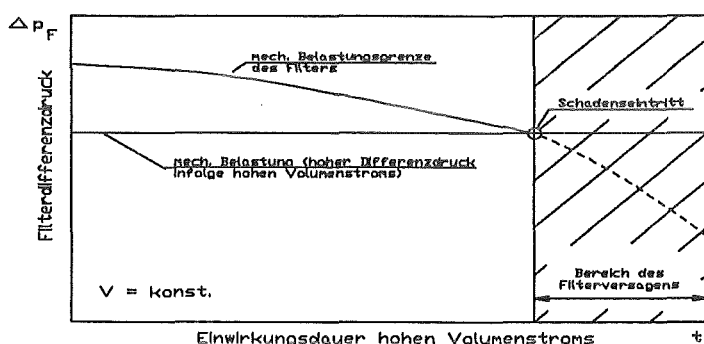
Die Prüfungen in trockener und feuchter Luft sollten zur Vermeidung von Beschädigungen durch den wiederholten Ein- und Ausbau im gleichen Prüfkanal durchgeführt werden. Nach DIN 25 414 soll die Feuchteprüfung bei Nenndurchsatz erfolgen. Dies erfordert einen Regelbereich des Volumenstromes der Luft von 1700 m<sup>3</sup>/h in feuchter Luft bis zu ca. 29.000 m<sup>3</sup>/h in trockener Luft und ist mit einem Gebläse nicht zufriedenstellend zu bewältigen.

Aus den angeführten Überlegungen folgt: Die unterschiedlichen Anforderungen sind durch eine einzige Prüfanlage nur mit großem Aufwand zu verwirklichen und würden außerdem zu einem sehr großen Platzbedarf führen. Auf der Grundlage der Versuchserfahrungen war daher ein verändertes Prüfverfahren auszuarbeiten und zu erproben.

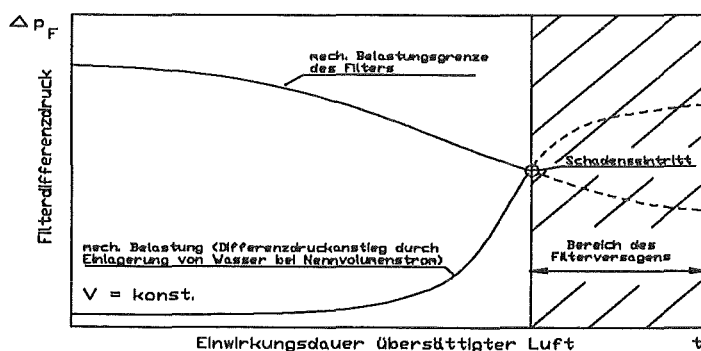
### 7.2 Erhöhung des Differenzdruckes durch Filterbeladung

Da auch eine eventuell einfacher zu erreichende Stoßbelastung mit großem Volumenstrom wegen der zeitabhängigen Veränderungen im Filter keine aussagekräftige Alternative bietet (siehe Kap. 8) wurden andere Wege untersucht, um eine Belastungsprüfung durchführen zu können.

Der Differenzdruck wird bei konstantem Volumenstrom durch Beladung der S-Filter mit Schwebstoffen in Form von Tropfen oder Partikeln erhöht. Dieser Effekt kann ausgenutzt werden, um den angestrebten Prüf-Differenzdruck bereits bei relativ kleinen Volumenströmen zu erreichen. Die Beladung des S-Filters mit Partikeln erfordert allerdings zusätzliche Einrichtungen und einen weiteren Schritt, um auch die Wirkung des Feuchteinflusses prüfen zu können. Die als wesentlicher Teil der Typprüfung vorgesehene abschließende quantitative Prüfung des Abscheidegrades nach DIN 24 184 erfordert zur Vermeidung von Fehlaussagen infolge der Abscheidewirkung des aufgebracht Staubkuchens ein abgereinigtes S-Filter. Für die Abreinigung müßte eine kostenintensive Anlage eingebaut werden, die unvermeidbar das S-Filter stark und ungleichmäßig beansprucht und erfahrungsgemäß eine vollständige Abreinigung nicht erreichen kann.



**Bild 2:** Schematische Darstellung von Belastung und Belastungsgrenze am Filter bei Durchströmung mit hohem Volumenstrom  $V \gg V_N$



**Bild 3:** Schematische Darstellung von Belastung und Belastungsgrenze am Filter bei Durchströmung mit übersättigter Luft ( $V = V_N = \text{Nennvolumenstrom}$ )

Die Beladung mit feuchteübersättigter Luft (Tropfenaerosol) führt bei gleichem Differenzdruck am S-Filter zu einer wesentlich intensiveren Belastung. Es war daher zu untersuchen, ob die trockene Differenzdruckprüfung mit 10 kPa und die Feuchteprüfung zusammen durch eine Prüfung mit Beladung des S-Filters mit Tropfenaerosolen bei herabgesetztem Differenzdruck ersetzt werden kann.

Versuche zeigten, daß bei länger andauernder Einwirkung von Tropfenaerosolen auf ein S-Filter der Differenzdruck schon beim Nennvolumenstrom auf Werte  $> 5$  kPa ansteigt. Eine Differenzdruck-Belastbarkeit in Höhe von 5 kPa in feuchter, übersättigter Luft wurde bereits in den Entwürfen der KTA Regel 3601, "Lüftungsanlagen in kerntechnischen Anlagen" in den Jahren bis 1987 gefordert, allerdings nur für eine Belastungsdauer von max. 1 s, die der Druckanstiegszeit entsprechen sollte. Diese Zeitspanne

ist für die Prüfung der Differenzdruck-Belastbarkeit zu kurz und erfaßt weder die sich langsamer entwickelnden Folgen der mechanischen Belastung noch der Wassereinwirkung auf das Filtermedium. Für die Auslegung der Typprüfanlage wurde deshalb festgelegt, daß über einen durch Versuche zu bestimmenden Zeitraum ein Differenzdruck von mindestens 5 kPa über das nasse



S-Filter aufrecht erhalten werden soll. Der notwendige Volumenstrom sollte den Nennvolumenstrom nicht wesentlich überschreiten, um die Größe und Kosten der Typprüfanlage möglichst gering zu halten.

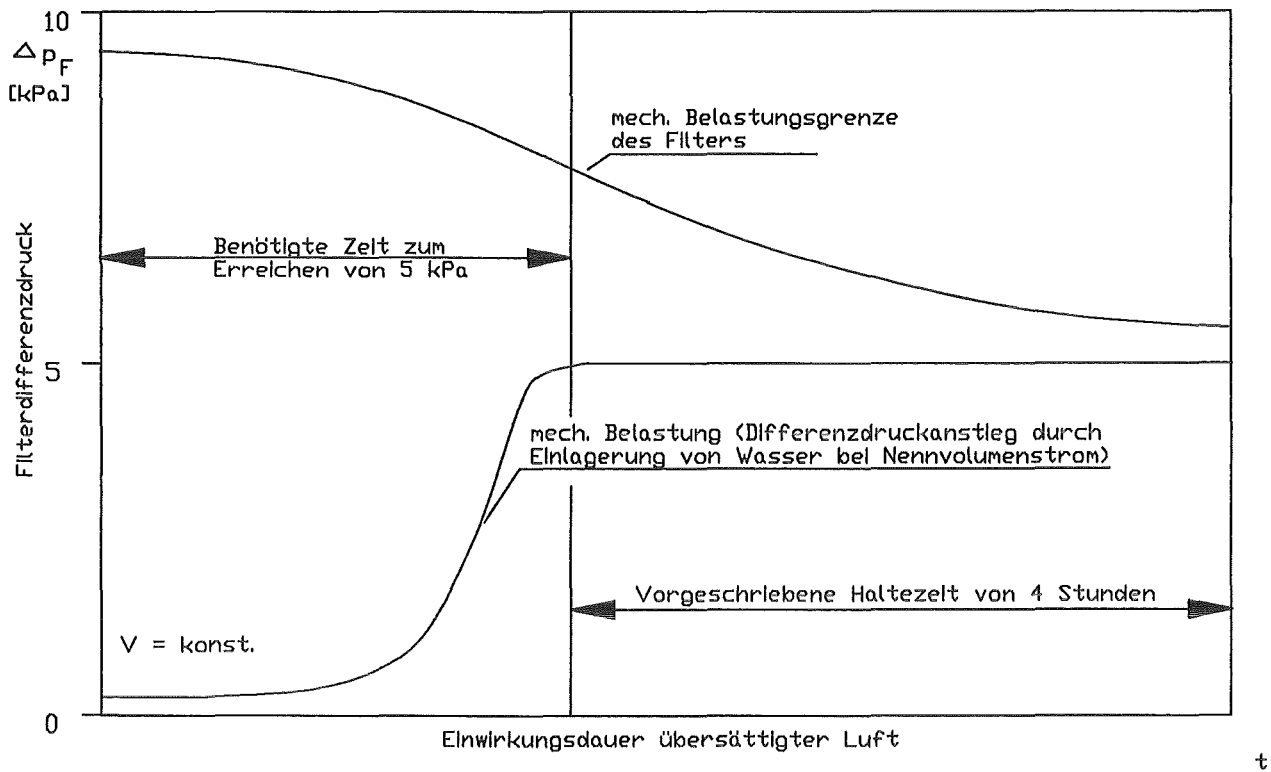
### 7.3. Schadensmechanismen an Schwebstofffiltern bei trockener und feuchter Belastung

Das LAF II hat sich innerhalb der letzten Jahre intensiv mit den Schadensmechanismen an Schwebstofffiltern beschäftigt. An laboreigenen Großanlagen wurde das Verhalten der Filter sowohl bei hohen Volumenströmen als auch bei hohen Feuchten und Nebel untersucht. Dabei versagen die Schwebstofffilter aufgrund einer hohen Belastung bei gleichzeitiger Abnahme der Belastbarkeit.

**Tab 2: Vergleich der Schadensmechanismen bei Belastung in trockener und übersättigter Luft**

Volumenstrom trockene Luft		Nennvolumenstrom übersättigte Luft	
Belastung	Abnahme der Belastbarkeit	Belastung	Abnahme der Belastbarkeit
hoher Differenzdruck infolge eines großen Volumenstroms	Das Aufblähen einzelner Falten in Folge des Differenzdruckes führt zur Berührung der Abstandshalter mit dem Papier. Durch das Reiben der Abstandshalter wird das Papier geschwächt	hoher Differenzdruck bedingt durch Beladung des Filterpapiers mit Wasser	Das Aufblähen einzelner Falten in Folge des Differenzdruckes führt zur Berührung der Abstandshalter mit dem Papier. Durch das Reiben der Abstandshalter wird das Papier geschwächt.  Zusätzlich nimmt die Zugfestigkeit des Filterpapiers durch die Einlagerung von Wasser stark ab

Der Vergleich der beiden Belastungsprüfungen zeigt, daß sich die Belastung und die Abnahme der Belastbarkeit der Filter bei beiden Tests ähneln. Als wesentlicher Faktor bei den Belastungsprüfungen in übersättigter Luft ist vor allem die Abnahme der Zugfestigkeit des Filterpapiers in Folge der Einlagerung von Wasser zu nennen. Die Abnahme der Zugfestigkeit des Filterpapiers führt bei Prüfungen in feuchter Luft zum Versagen des Filters bei geringeren Differenzdrücken als bei hohem Volumendurchsatz von trockener Luft. Ein Vergleich der vielen Versuche am LAF II bestätigt dies ( Bild 5 ).

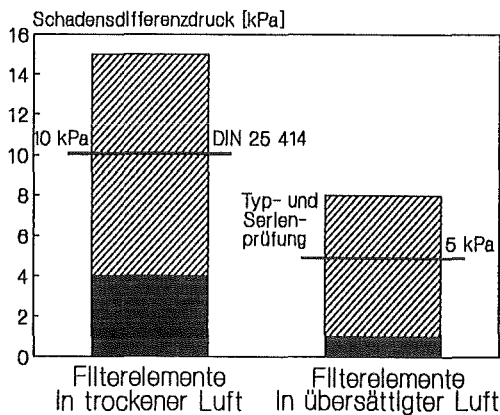


**Bild 4:** Belastung und Belastungsgrenze beim Prüfen mit einer vorgeschriebenen Haltezeit

### 7.4 Festlegen geeigneter Prüfbedingungen zum Bau einer transportablen Prüfeinheit

Es muß besonders beachtet werden, daß die Abnahme der Belastbarkeit nicht nur von den Parametern Nebelnässe, Beladung und Anströmgeschwindigkeit abhängt, sondern im wesentlichen

zeitabhängig ist. Dies bedeutet, daß Filter mit einem schnellen Differenzdruckanstieg in übersättigter Luft gegenüber den besseren Filtern mit einem langsamen Differenzdruckanstieg im Vorteil sind, da in der kürzeren Zeit bis zum Erreichen eines festgelegten Prüfdifferenzdruckes ihre Belastbarkeit weniger sinkt. Darum muß für einen Prüfdifferenzdruck eine bestimmte Haltezeit vorgeschrieben werden, um die Filter unter einer ähnlichen Abnahme der Belastbarkeit zu testen (Bild 4).



**Bild 5:** Vergleich der Schadensdifferenzdrücke von Schwebstofffilter bei trockener und übersättigter Luft

Beim Auswerten der umfangreichen Versuche zeigt es sich, daß ein Belastungstest in übersättigter Luft bei einem Prüfdifferenzdruck von 10 kPa nur sehr schwer und nur durch lange Versuchszeiten zu realisieren ist. Zudem sinkt

die Belastbarkeit von Schwebstofffiltern beim Durchströmen mit übersättigter Luft wesentlich stärker als beim Durchströmen mit trockener Luft.

Um kürzere Versuchszeiten zu gewährleisten und die Filter beim Durchströmen mit übersättigter Luft ähnlichen Anforderungen wie beim 10 kPa "Trockentest" zu unterziehen, müssen die bisher an Schwebstofffiltern durchgeführten Tests verglichen werden.

Betrachtet man die Schadensdifferenzdrücke an Schwebstofffiltern, die bisher an Versuchen im LAF II gemessen wurden (Bild 5), so erscheint es sinnvoll den Prüfdifferenzdruck im Betrieb in übersättigter Luft auf 5 kPa festzulegen, um eine vergleichbare Anforderung gegenüber der Trockenbelastung von 10 kPa zu erreichen. Dabei lehnt man sich an eine ältere KTA-Anforderung (Fassung 1987)<sup>1</sup> an, die auch einen Prüfdifferenzdruck von 5 kPa in übersättigter Luft verlangt.

## **8. Anlagenkonzeption**

### **8.1 Anforderungen an die Konzeption**

Folgende Anforderungen wurden der Auslegung der Typprüfanlage zugrunde gelegt:

- Volumenströme zwischen 1800 - 3000 m<sup>3</sup>/h (Nennvolumenstrom), wahlweise offener oder geschlossener Betrieb.
- Dauerbetrieb mit Differenzdruck am zu prüfenden Filter von mindestens 5 kPa
- Erzeugung von Nebelkonzentrationen von 2,5 - 50 g/m<sup>3</sup>
- Vorrichtung zum Überprüfen der Filtereigenschaften nach DIN 24184 in der Prüfstrecke eingebaut.
- Statische Temperaturbeanspruchung der Filter bei 120 °C (extern, Wärmeschrank)

### **8.2 Ausgeführte Anlage**

Der Filterbelastungstest findet im Kreislaufbetrieb statt. Ein Rootsgebläse (7) mit polumschaltbarem Motor erzeugt wahlweise Volumenströme von 2000 m<sup>3</sup>/h oder 3000 m<sup>3</sup>/h. Zur feineren

---

1) KTA 3601, eine Regel des Kerntechnischen Ausschusses ist wortgleich mit DIN 25414, "Lüftungstechnische Anlagen in Kernkraftwerken, Fassung Juli 1987"

Regulierung dient ein Bypass mit Regelklappe (6), der einen Teil des Volumenstroms dem Gebläse direkt zurückführt.

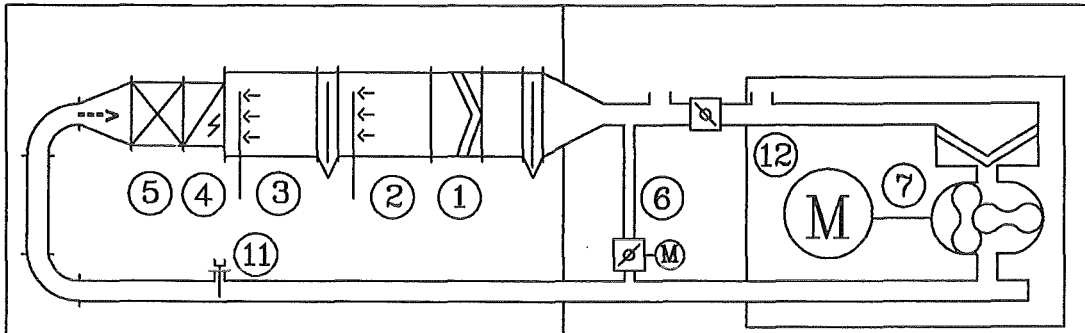


Bild 6: Typ- und Serienprüfanlage

Am Anfang der eigentlichen Teststrecke wird über eine Annubar-Sonde (11) der Volumenstrom gemessen. Dieses Gerät bietet sich für die Anlage an, da sich durch die engen Platzverhältnisse nur sehr kurze An- und Auslaufstrecken für die Volumenstrommessung ergeben. Anschließend wird dem Luftstrom über einen Kühler (5) ein Teil der Verdichtungswärme entzogen. Ein hinter dem Testfilter angeordnetes Thermoelement gibt den Istwert der Temperatur für den Regelkreis der Kühlung. Die Heizung (4) dient zum Trocknen der Anlage und ist im normalen Testbetrieb ausgeschaltet. Es schließt sich die Befeuchtungsstrecke (3) an, in der der Luftstrom durch das eingedüστε Wasser bis zu 100 % aufgefuechtet und weiter heruntergekuehlt wird. Zum Aufgefuechten werden Zweistoffdusen verwendet um sehr kleine Tropfen zu erzeugen, so daß innerhalb der kurzen Befeuchtungsstrecke Luftfeuchten nahe 100 % erreicht werden. Am Ende der Befeuchtungsstrecke hält ein Drahtgestricktropfenabscheider die größeren nicht verdunsteten Tröpfchen zurück.

Anschließend folgen wieder Zweistoffdusen, welche den

- 1. Filtergehäuse
- 2. Nebelstrecke
- 3. Befeuchtungsstrecke
- 4. Heizung
- 5. Kühler
- 6. Bypass mit Regelklappe
- 7. Rootsgebläse
- 8. Kompressor
- 9. Rechner
- 10. Schaltschrank
- 11. Annubar-Sonde
- 12. Ansaugkanal

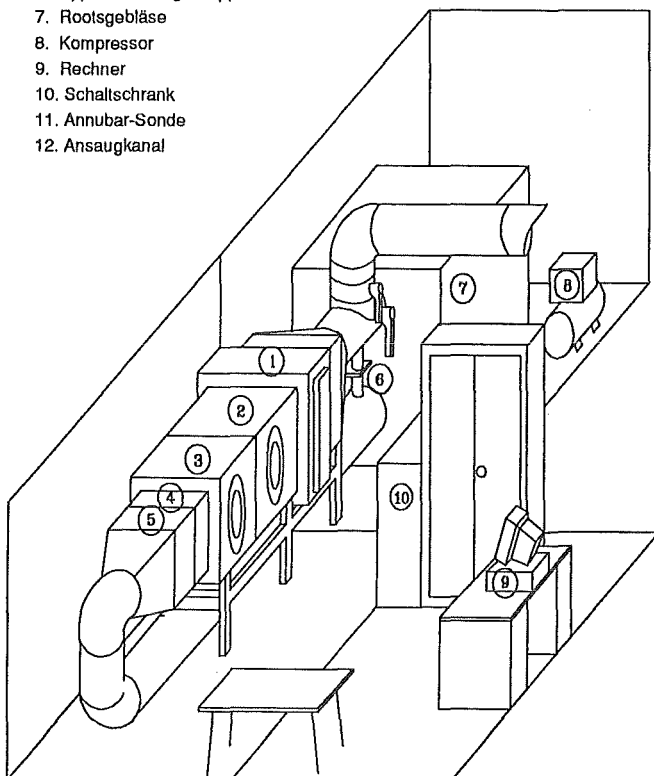
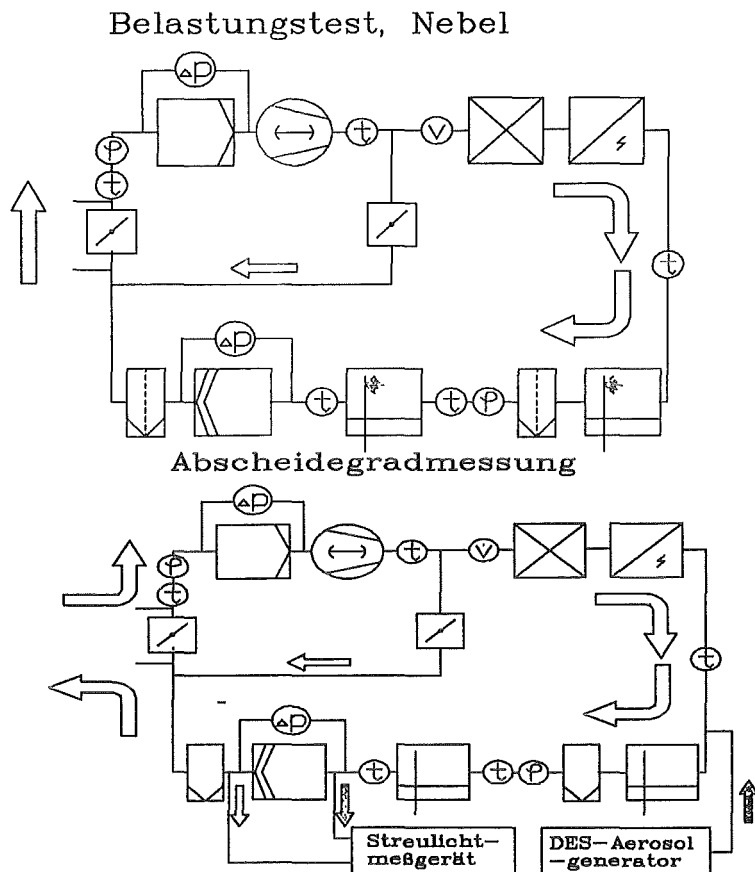


Bild 7: Anlagenschaubild der Typprüfanlage

feuchtegesättigten Luftstrom mit feinen Nebeltropfen durchsetzen (2). Auch hier ist eine geringe Tropfengröße von großer Wichtigkeit, da die Nebeltropfen bis zu 0,3 µm in das Filterpack (1) eindringen müssen. Zu große Tröpfchen werden schon am Anfang der schmalen Dreieckskanäle,

die von den Abstandshaltern und den Filterfalten gebildet werden, abgeschieden.



Dem Versuchsfilter ist ein Tropfenabscheider nachgeschaltet, da nach längerer Nebeldurchströmung auf der Filterrückseite Sekundärtropfen entstehen. Aber auch beim Versagen des Testfilters muß der Tropfenabscheider den Ansaugkanal des Gebläses vor Wassertropfen schützen. Der Bypass zur Feinregulierung des Volumenstroms (6) mündet ebenfalls in den Ansaugkanal (12). Er regelt nicht nur den Volumenstrom, sondern führt auch einen Teil der Verdichtungs-wärme zurück, setzt damit die Luftfeuchte im Ansaugkanal herunter und schützt das Gebläse vor Kondensat. Vor dem Gebläse befindet sich noch ein Ansaugfilter, das Verunreinigungen in der Anlage und Filterteile, die beim Versagen des Testfilters

**Bild 8:** Fließbild der Typprüfanlage

entstehen, zurückhält.

Im Anschluß an jeden Belastungstest werden Filter und Anlage für den darauffolgenden Abscheidegradtest getrocknet. Trocknung und Abscheidegradtest erfolgen im offenen Betrieb. Zur Trocknung wird die Heizung eingeschaltet, Kühler und Sprühdüsen bleiben außer Betrieb. Nach erfolgter Trocknung wird der Abscheidegrad ermittelt. Hierfür wird feiner DES-Nebel erzeugt und hinter der Heizung in die Anlage eingeleitet. Der Abscheidegrad wird mittels Streulichtmeßgerät festgestellt. Auch im offenen Betrieb erfolgt die Feinregulierung des Volumenstroms über den Bypass mit Regelklappe.

Meßwerterfassung und Regelung der Anlage erfolgen über einen Rechner. Die Meßdiagramme können direkt nach Abschluß des Versuches über einen Drucker ausgegeben werden. Verschiedene Alarme schützen das Gebläse vor Kondensat und Überhitzung und zeigen eine erhöhte Temperatur des abzuleitenden Kühlwassers an.

Neben dem Prüfkanal zur Belastung des Filters bei übersättigter Luft, gehören zur Anlage noch ein Ölfadenmeßgerät und ein Wärmeschrank. Die Druckluft für das Ölfadenmeßgerät und zur erzeugung des DES und Wassernebels wird in einem eigenen Kompressor erzeugt, so daß die gesamte Anlage nur einen Stromanschluß und eine Kühlwasserversorgung benötigt.

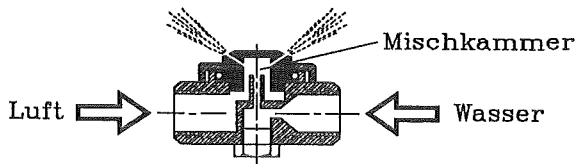
### 8.3 Regelung zum Halten des Prüfdifferenzdruckes

Ausgehend von den Erkenntnissen an herkömmlichen und hochfesten Schwebstofffiltern wurde zunächst versucht, die Nebelerzeugung und die Bestimmung der Nebelnässe zu modifizieren.

Zur Nebelnässemessung gibt es zunächst die Möglichkeit einer direkten Messung der relativen oder absoluten Feuchte vor dem Filter. Die Meßtechnik hierzu ist jedoch relativ teuer und verspricht keine hohe Genauigkeit. Eine weitere Möglichkeit besteht in einer konstanten eingedüsten Wassermenge und der Messung der im und um das Filter abgeschiedenen Wassermenge. Problematisch erweisen sich hierbei jedoch die Gewährleistung einer bestimmten eingedüsten Wassermenge und das unterschiedliche Sorptions- und Drainageverhalten der verschiedenen Filter.

Durch das unterschiedliche Verhalten der Papiere und der Filterelemente bei Nebeldurchströmung ergeben sich, wie im Anhang beschrieben, bei konstanter Nebelnässe, Temperatur und Anströmgeschwindigkeit unterschiedliche Belastungen der Filter. Da die Filter jedoch auf ihre strukturelle Festigkeit geprüft werden sollen, ergibt sich daraus die Konsequenz, nicht die Beanspruchungsgrößen, sondern den Differenzdruck (Belastung) über das Filter konstant zu halten. In Abhängigkeit vom angestrebten Differenzdruck wird die Nebelnässe reguliert. Damit entfällt die Notwendigkeit der Messung und Konstanthaltung der Nebelnässe.

Dabei sind 2 Parameter der Nebelnässe besonders zu beachten, die absolute Nebelmenge in  $g/m^3$  und die Größe der am Filtervlies auftreffenden Nebeltropfen. Zur schnellen Beladung des Filters muß genügend Wasser zur Verfügung gestellt werden, also eine hohe absolute Nebelmenge am Filter ankommen. Sehr feine Tropfen werden benötigt, um das Eindringen der Wassertröpfchen in Faltenkanäle und Filtervlies zu ermöglichen. Sie dienen aber auch zur Simulation der feinen Tropfen von kondensiertem Dampf (Störfall).



**Bild 9:** 2-Stoff-Düse mit innerer Gemischbildung

An der ausgeführten Anlage zeigte sich bald, daß die Regelung des Differenzdruckes am besten über die Variation der Tröpfchengröße gelingt. Die verwendeten Zweistoff-Düsen zum Erzeugen der Nebeltropfen werden über den Luftdruck geregelt.

Bei der inneren Gemischbildung der Düsen wird der Luftdruck erhöht um den Wasserdurchsatz zu verringern. Gleichzeitig verringert sich mit zunehmendem Luftdruck die Größe der erzeugten Tropfen. Es wird also bei einer Reduzierung der Nebelkonzentration auch die Tropfengröße verkleinert. Das bedeutet eine Verschiebung des

gesamten Tropfenspektrums zu kleineren Tropfendurchmessern. Die Verluste durch Vorabscheidung größerer Tropfen werden dadurch verringert. Deshalb erhöht sich beim Reduzieren der Nebelnässe im relevanten Betriebsbereich der Zweistoff-Düsen der Differenzdruck am Filter. Bei der minimalen Nebelnässe, die auf diese Weise eingestellt werden kann, ist die ins Filtermedium eingetragene Wassermenge noch ausreichend hoch, um den Differenzdruck am Filter konstant einzuregeln.

**Tab. 3:** Vergleich der Prüfbedingungen der DIN 25 414 / KTA 3601, der TLA 22- KfK und der Typ- und Serienprüfanlage

Anforderungen nach (Reihenfolge der Prüfungen wie angegeben	DIN 25414 KTA 3601	TLA Nr. 22 -KfK -	Typ- und Serienprüfung
Eingangsprüfung: Klasse S Ölfadenprüfung Abscheidegradprüfung	DIN 24184 leckfrei $\eta > 99,97\%$	DIN 24184 leckfrei $\eta > 99,97\%$	DIN 24184 leckfrei $\eta > 99,97\%$
Thermische Belastung:	- -	120 °C 23 h	120 °C 23h
Feuchtebeanspruchung (T = 30 °C): max. relative Feuchte: Nebelkonzentration: zeitliche Dauer: Differenzdruck:	> 90 % 1 g/m <sup>3</sup> 1 s	100 % 5 g/m <sup>3</sup> 20 h	100 % > 10 g/m <sup>3</sup> 4 h 5 kPa
Differenzdruckbelastung (T = 30 °C): max. Differenzdruck konstant über 60 sec. Anfahren und Abfahren in 30 sec.	trocken 10 kPa ja	trocken 25 kPa ja	enthalten in Feuchte- beanspruchung
Abschlußprüfung: Klasse S Ölfadenprüfung Abscheidegradprüfung	DIN 24184 leckfrei $\eta > 99,97\%$	DIN 24184 leckfrei $\eta > 99,97\%$	DIN 24184 leckfrei $\eta > 99,97\%$
Entflammbarkeit nach DIN 53438 (Filtermedium, Rahmen, ...) Zeugnis vom Hersteller	erforderlich	erforderlich	erforderlich

## 9. Durchführung des Filterprüfungs

### 9.1 Beschreibung des Prüfverfahrens

Die vorgeschlagene Typ- und Serienprüfung ergibt sich aus der Auswertung der Ergebnisse der bestehenden Prüfverfahren nach DIN 25414 und TLA 22 der KfK.

Die Typ- und Serienprüfung besteht aus folgenden Einzelprüfungen:

1.	Sichtprüfung	
2.	Ölfadenprüfung	VOR PRÜFUNG
3.	Abscheidegradprüfung entsprechend DIN 24 184	
<hr/>		
4.	Belastungsprüfung (Wärmeschränk)	
5.	Belastungsprüfung (Nebel) Trocknen des Filters	BELASTUNG
<hr/>		
6.	Abscheidegradprüfung nach Trocknen entsprechend DIN 24 184	
7.	Sichtprüfung	NACH PRÜFUNG
8.	Ölfadenprüfung	

Die Punkte 1-3 dienen zur Feststellung des Ist-Zustandes des Filters vor der Prüfung, um vorgeschädigte Filter vor der Prüfung auszuschneiden.

Die Punkte 4-5 sind die Belastungsprüfungen.

Die Punkte 6-8 dienen im Vergleich zu den Ergebnissen aus 1-3 zur Beurteilung des Ist-Zustandes des Filters nach der Belastungsprüfung, um die aufgetretenen Schäden zu erkennen.

### 9.2 Beschreibung der einzelnen Prüfungen

**Sichtprüfung:** Die äußere Beschaffenheit des Filters wird begutachtet und protokolliert. Das Augenmerk gilt vor allem der Beschaffenheit der Vergußmasse (Kunststoffmasse mit der das Faltenpack in den Filterrahmen eingeklebt wird) und der Dichtung.



---

**Versuchsprotokoll zur Typprüfung**

Datum:  
Bediener:  
Filterbezeichnung:

**Zustand des Filters vor der Prüfung**

Äußere Besonderheiten:  
(Verarbeitung, Zustand: Vergußmasse, Dichtung, Rahmen, Filtermedium,..)

Ölfadenprüfung:

Abscheidegradprüfung entsprechend DIN 24 184

Penetration:                      Abscheidegrad [%]:

**Belastungsprüfung: Wärmeschrank**

Dauer: [h; min]:  
Temperatur [°C]:  
Veränderungen am Filterelement:

**Belastungsprüfung im Nebelbetrieb**

Volumenstrom [m<sup>3</sup>/h]:  
Nebelnässe bei 5 kPa [g/m<sup>3</sup> Luft]:  
Zeit bis zum Erreichen des Prüfdrucks von 5 kPa [h; min]:

Prüfdruck von 5 kPa            gehalten mindest. 4 h              
                                  nicht gehalten : Schaden nach    h           

**Zustand des Filters vor der Prüfung**

Äußere  
Ölfadenprüfung:

Abscheidegradprüfung entsprechend DIN 24 184

Penetration:                      Abscheidegrad [%]:

---

Datum, Unterschrift

**Ölfadenprüfung:** Das Filter wird ins Ölfadenprüfgerät eingespannt, Gebläse und Ölnebelgenerator eingeschaltet und die Filteroberfläche bei abgedunkeltem Arbeitsraum beobachtet. Sind Schäden am Filter vorhanden, zB. Risse in der Vergußmasse oder "Pinholes" im Filterpapier, so strömt Parafinölnebel durch diese Beschädigungen. Die Abströmseite des Filters ist hell erleuchtet und selbst kleinste Nebelmengen, die durch Beschädigungen hindurchtreten, werden als Ölfäden sichtbar.

**Abscheidegradprüfung:**

Die Abscheidegradprüfung wird im Prüfkanal durchgeführt. Dazu wird der Tropfenabscheider zwischen Befeuchtungs- und Nebelstrecke entfernt, der Prüfvolumenstrom eingestellt, der Aerosolgenerator in Betrieb genommen und nach Kalibrierung des Streulichtmeßgerätes der Abscheidegrad ermittelt.

**Belastungsprüfung (Wärmeschrank):**

Das Filter kommt für 23 Stunden bei 120 °C in den vorgeheizten Wärmeschrank.

**Belastungsprüfung (Nebel):**

Das Filter wird ins Filtergehäuse eingesetzt, beide Tropfenabscheider sind eingebaut und die Handklappe geöffnet (Kreislaufbetrieb). Das Gebläse wird eingeschaltet, für Nennvolumenströme bis 1700 m<sup>3</sup>/h Stufe 1, für höhere Durchsätze Stufe 2 (Polumschaltbarer Motor). 2-Stoffdüsen einschalten und den gewünschten Differenzdruck in den Rechner eingeben.

**Trocknen:**

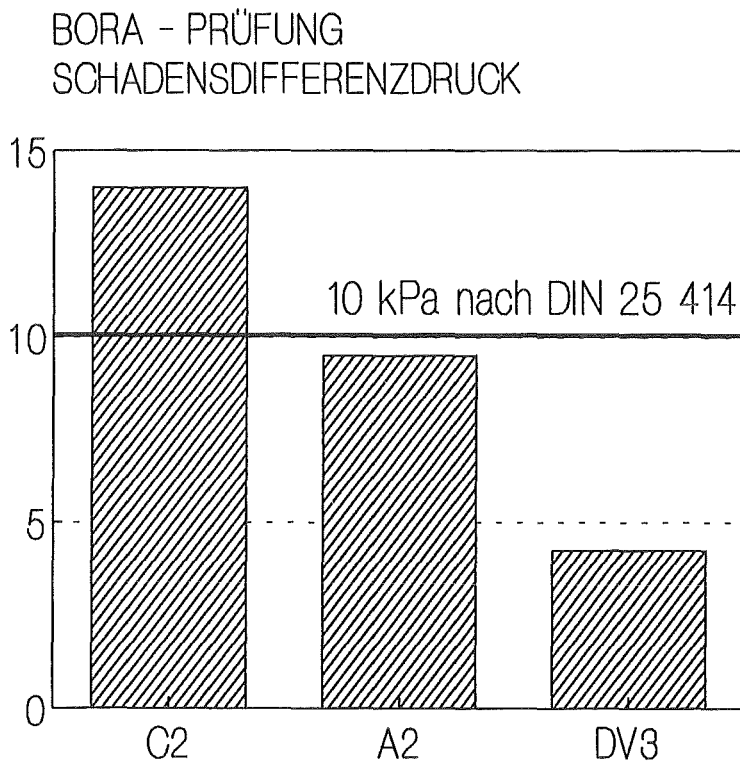
Nach Beendigung der Belastungsprüfung (Nebel) wird das Filter wie folgt getrocknet: 2-Stoffdüsen und Kühler ausschalten, Handklappe schließen (offener Betrieb) und Heizung in Betrieb nehmen.

## 10 Ergebnisse der Filterprüfung

Nach der Inbetriebnahme der Typ- und Serienprüfanlage wurde eine große Anzahl von S-Filtern getestet, die für Lüftungsanlagen von Kernkraftwerken angeboten werden.

### 10.1 Vergleich von Belastungsprüfung in trockener Luft und in feuchter Luft des vorgeschlagenen Prüfverfahrens

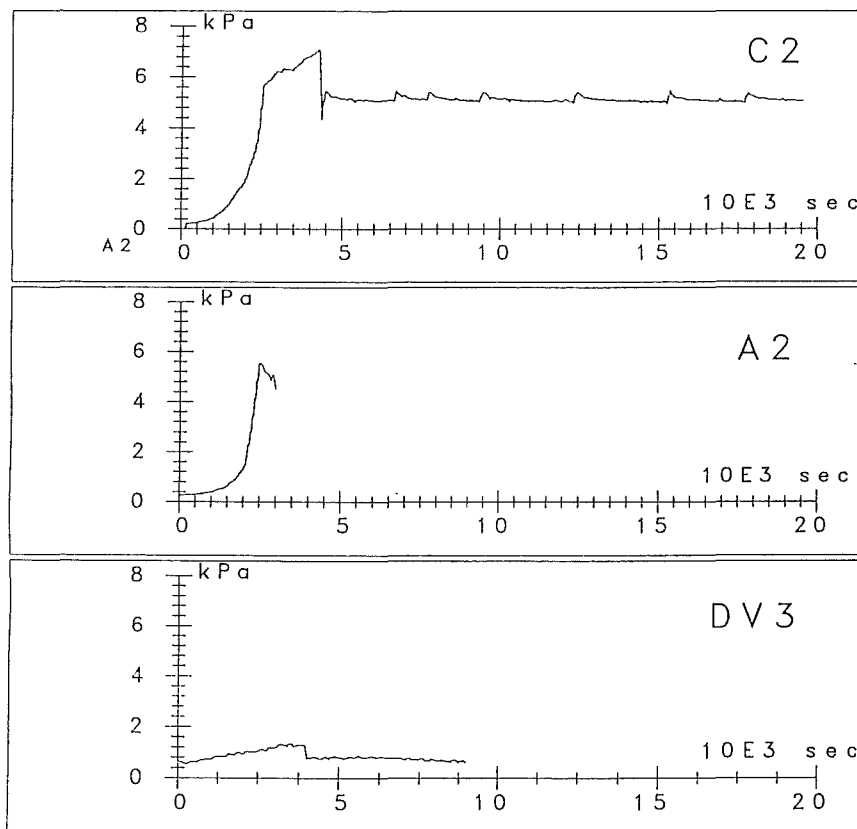
Die Belastungsprüfung in feuchter Luft des hier vorgeschlagenen Prüfverfahrens soll anhand von einigen Ergebnissen mit der derzeit nach DIN 25 414 gültigen Belastungsprüfung in trockener Luft verglichen werden. Aus der Vielzahl der geprüften S-Filter verschiedener Hersteller sollen hier die Belastungsprüfungen von drei Filtertypen, die derzeit in Lüftungsanlagen deutscher Kernkraftwerke eingesetzt werden, einander gegenüber gestellt werden. Die Buchstaben stehen stellvertretend für einen Filtertyp, die Zahlen für eine Serie, aus der mehrere Filterelemente geprüft wurden.



TYP\_BORA, LAF II, NOV 92

**Bild 10:** Vergleich der Schadensdifferenzdrücke in trockener Luft entsprechend DIN 25 414 von handelsüblichen Schwebstofffiltern

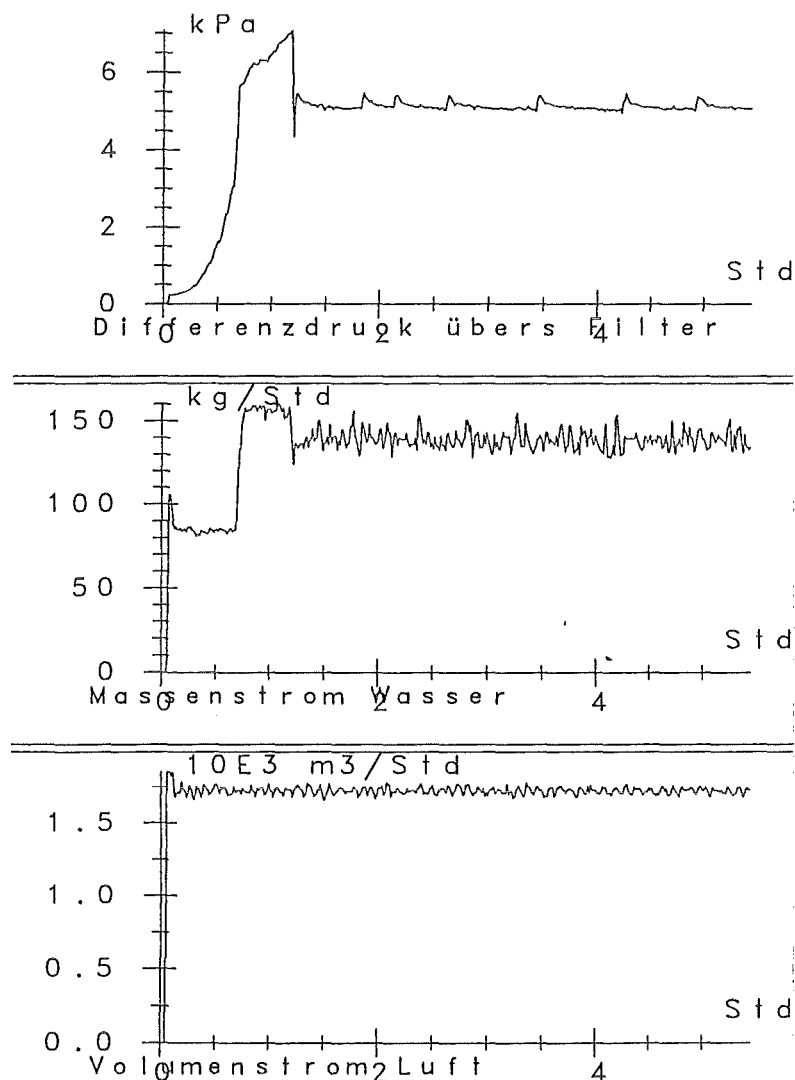
Die Schadensdifferenzdrücke in trockener Luft (Bild 10) lagen bei 14 kPa, 9.5 kPa und 4 kPa. Die Belastungsprüfungen wurden an der Filterversuchsanlage BORA im Kernforschungszentrum ermittelt. Filterelemente derselben Serie wurden gleichzeitig einer Prüfung in der Typprüfanlage (Bild 11) unterzogen. Bei konstantem Volumenstrom durch das Filter wird eine so große Menge an Wasser in Form von kleinen Tröpfchen eingesprüht, bis sich der Prüfdifferenzdruck von 5 kPa über dem Filter einstellt. Über eine Haltezeit von 4 Stunden wird weiterhin feines Tropfenaerosol eingesprüht, so daß der Druck über das Filter konstant bleibt. Das Filter (C2), welches 10 kPa Differenzdruck in trockener Luft ohne Schaden aushält, zeigte auch keine Beeinträchtigung bei der Belastungsprüfung in feuchter Luft in der Typprüfanlage bei 5 kPa über 4 Stunden. Das Filter (A2) besteht die Belastungsprüfung in trockener Luft bei 10 kPa gerade nicht. In der Typprüfanlage widersteht es zwar einem Differenzdruck von 5 kPa in feuchter Luft, aber nur über wenige Minuten. Das Filter (DV3), ausgelegt für Volumenströme von 3000 m<sup>3</sup>/h, wurde in der Typprüfanlage mit 1700 m<sup>3</sup>/h feuchter Luft durchstößt. Aufgrund der größeren Filterfläche im Filter steigt der Differenzdruck wesentlich langsamer an über der Zeit. Bei einem Differenzdruck von ca. 1.8 kPa nach einer Zeit von etwa einer Stunde (4000 Sekunden) bricht das Filtermaterial auf. Beim Belastungstest in trockener Luft bricht das Filtermaterial bei ca. 4 kPa auf.



**Bild 11:** Belastungsprüfung in feuchter Luft durchgeführt an der Typprüfanlage

## 10.2 S-Filter, 5 kPa Differenzdruckbelastung feucht nach vorgeschlagenem Typprüfverfahren bestanden

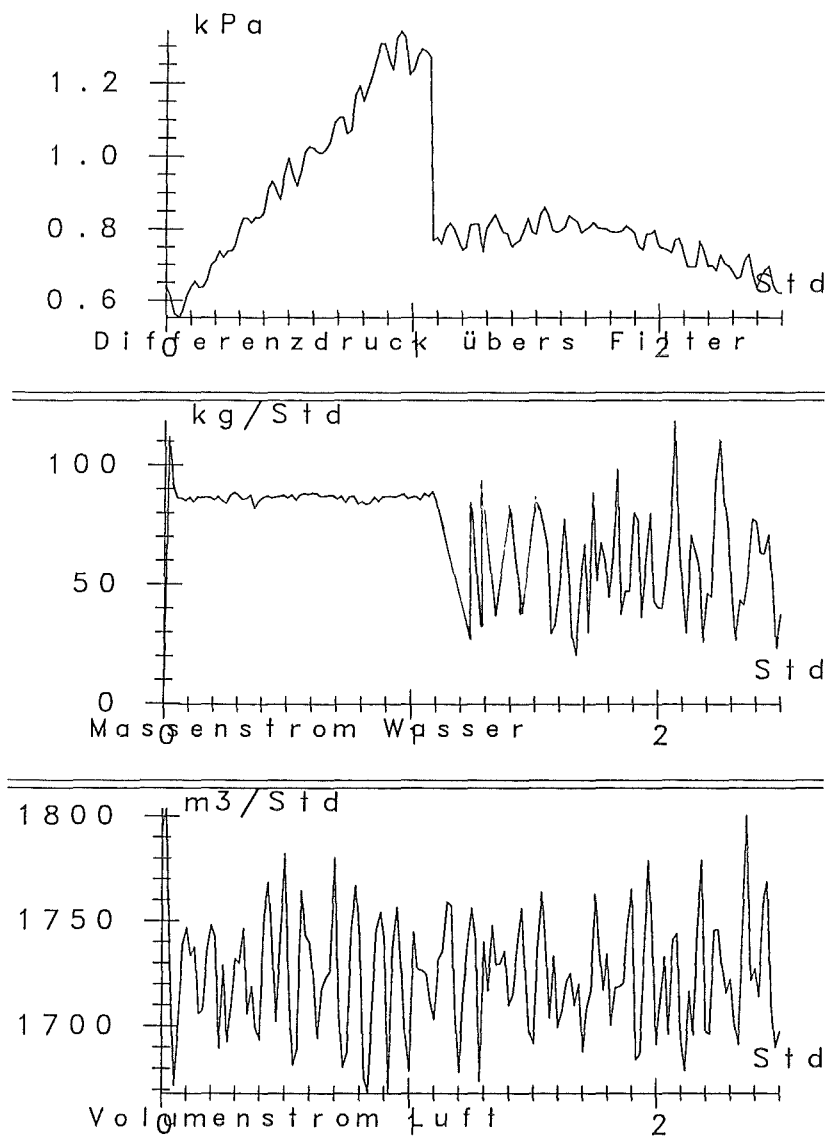
In Bild 12 ist der zeitliche Verlauf des Differenzdruckes, des Massenstromes vernebelten Wassers und des Luftvolumenstromes eines S-Filters dargestellt, der die Prüfung nach dem vorgeschlagenem Typprüfverfahren besteht. Der Differenzdruck steigt innerhalb einer Stunde auf einen Wert über 6 kPa. Bei 7 kPa wurde die Regelung umgestellt, um über mehrere Stunden den Prüfdruck von 5 kPa zu halten. Der Differenzdruck wird über die eingedüste Menge Wasser geregelt und gehalten. Der Filter wurde bei einem konstanten Luftvolumenstrom von 1700 m<sup>3</sup>/h getestet. Nach der Prüfung entsprach der Filter der Klasse S entsprechend der DIN 24 184.



**Bild 12:** Darstellung des Differenzdruckes, des Massenstromes vernebelten Wasser und des Luftvolumenstromes eines S-Filters (C2), der die Differenzdruckbelastung von 5 kPa in feuchter Luft nach vorgeschlagenem Typprüfverfahren besteht

### 10.3 S-Filter, 5 kPa Differenzdruckbelastung feucht nach vorgeschlagenem Typrüfverfahren nicht bestanden

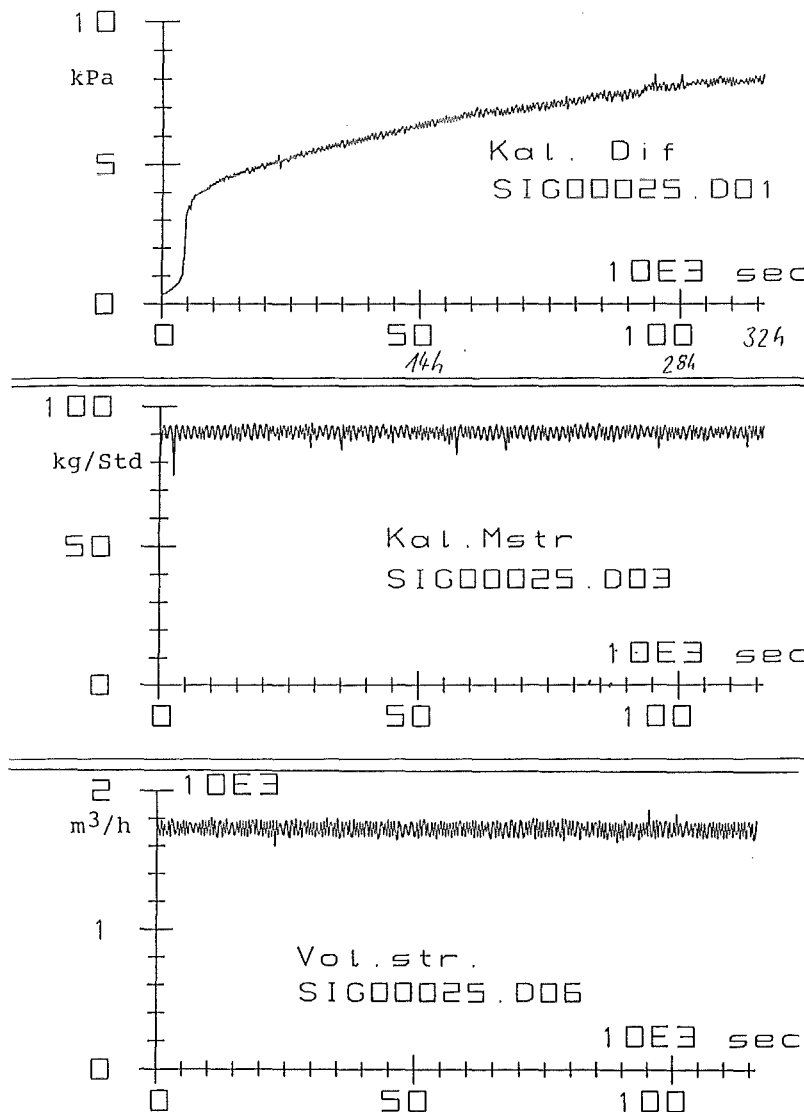
In Bild 13 ist der zeitliche Verlauf des Differenzdruckes, des Massenstromes vernebelten Wassers und des Luftvolumenstromes eines S-Filters dargestellt, der die Prüfung nach dem vorgeschlagenem Typrüfverfahren nicht besteht. Das Filter ist für 3000 m<sup>3</sup>/h ausgelegt, daher steigt der Differenzdruck bei 1700 m<sup>3</sup>/h nur sehr langsam an. Nach einer Stunde brechen Falten des Filters bei einem Differenzdruck von 1.2 kPa auf. Das Filter ist zerstört. Der Differenzdruck fällt sichtbar über das Filter. Da der Differenzdruck über die eingedüste Menge Wasser geregelt wird, oszilliert die Regelung der Sprühdüsen nach der Zerstörung des Filters. Der Filter wurde bei einem konstanten Luftvolumenstrom von 1700 m<sup>3</sup>/h getestet.



**Bild 13:** Darstellung des Differenzdruckes, des Massenstromes des vernebelten Wasser und des Luftvolumenstromes eines S-Filters (DV3), der die Differenzdruckbelastung von 5 kPa in feuchter Luft nach vorgeschlagenem Typrüfverfahren nicht besteht

### 10.4 Hochfestes S-Filter, über 36 Stunden in feuchter Luft geprüft

Der zeitliche Verlauf des Differenzdruckes, des Massenstromes vernebelten Wassers und des Luftvolumenstromes eines hochfesten S-Filters ist in Bild 14 dargestellt. Das hochfeste S-Filter wurde auf einen maximalen Differenzdruck in feuchter Luft getestet. Hierzu wurde eine konstante Wassermenge vernebelt bei einem Luftvolumenstrom von 1700 m<sup>3</sup>/h über einen Zeitraum von 36 Stunden. Der Differenzdruck steigt hierbei kontinuierlich auf Werte von ca. 8 kPa an. Nach der Prüfung entsprach der Filter der Klasse S entsprechend der DIN 24 184.



**Bild 14:**

Darstellung des Differenzdruckes, des Massenstromes des vernebelten Wasser und des Luftvolumenstromes eines S-Filters (A-HF 1), der über 36 Stunden (130 000 Sekunden) in feuchter Luft geprüft wurde und hierbei einen Differenzdruck von 8 kPa erreichte

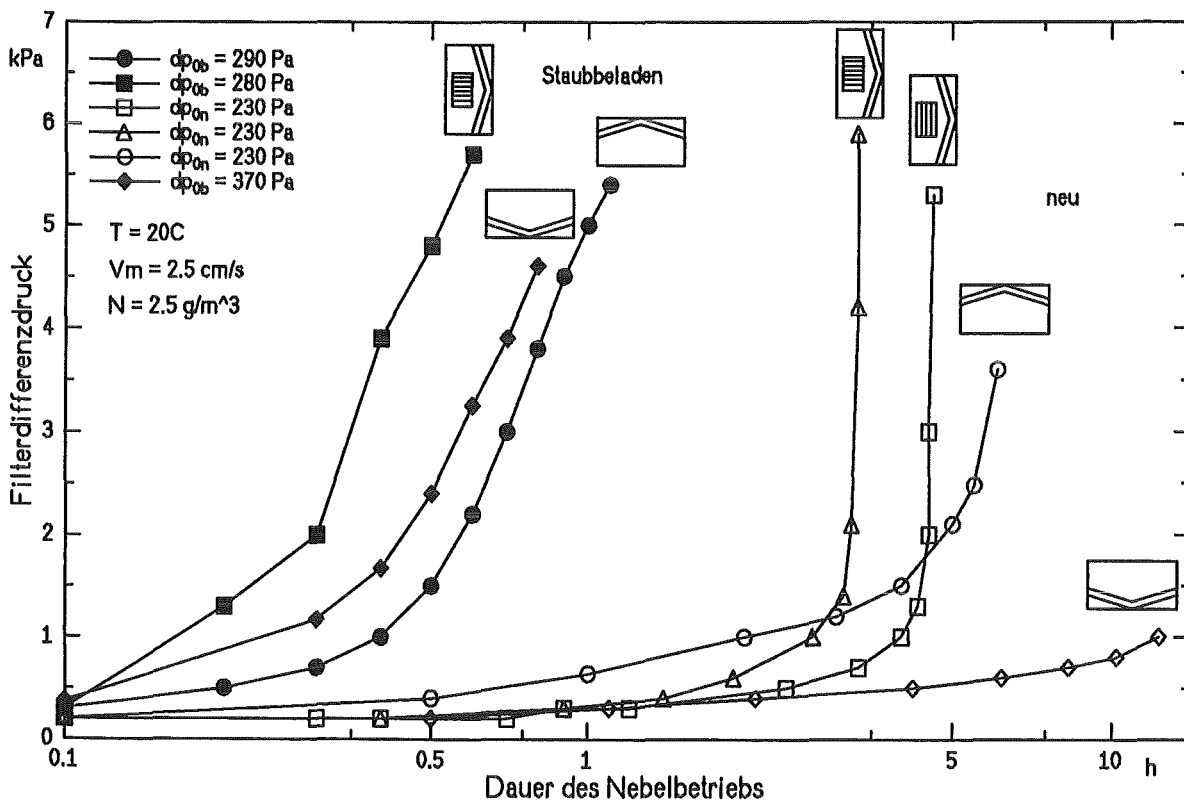
## 11. Anhang

### 11.1 Zum Verhalten von Schwebstofffiltern bei Durchströmung mit nebelhaltiger Luft

#### Konventionelle Schwebstofffilter

#### 11.1.1 Einbaulage

S- Filtern der Größe 610x610x292 mm wurden in einem Filtergehäuse in verschiedenen Einbaulagen durchströmt (Bild 15). Hierbei wurde unterschieden zwischen "liegender" und "stehender" Einbaulage. Die liegend eingebauten wurden einmal von unten und einmal von oben durchströmt. Die stehend eingebauten Filterelemente wurden einmal mit horizontaler Ausrichtung der Falten und einmal mit vertikaler Ausrichtung angeströmt.



**Bild 15:** Einfluß der Einbaulage auf den zeitlichen Differenzdruckverlauf bei feuchter Luft (Nebelgehalt  $2.5 \text{ g/m}^3$ ) bis zum Eintritt des ersten Schadens

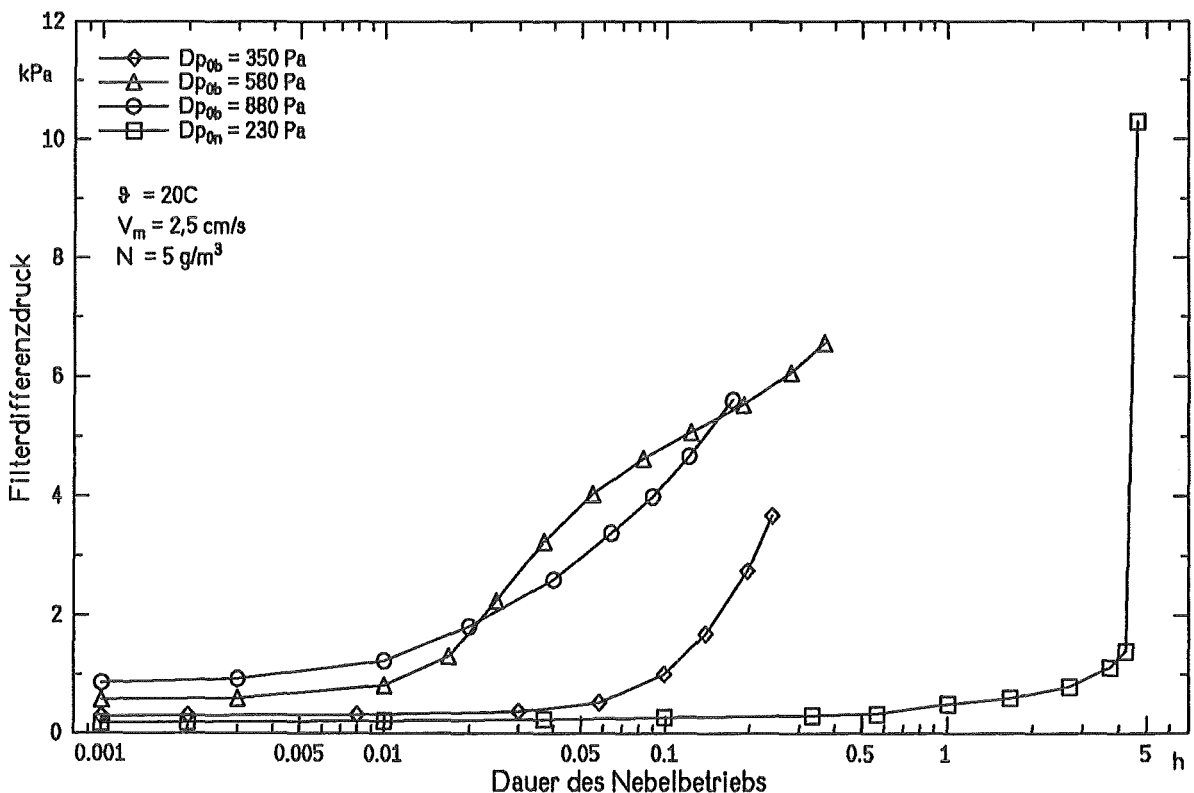


Die Filter wurden während des Tests mit 2,5 g/m<sup>3</sup> Nebelnässe beaufschlagt. Das Differenzdruckverhalten der Filter variiert mit den unterschiedlichen Einbaulagen. Bei neuen, unbeladenen Filtern tritt das Versagen bei stehendem Einbau und horizontaler Ausrichtung der Falten früher ein. Diese Einbaulage sollte in Lüftungsanlagen nicht angewandt werden. Durch falschen Einbau von Filterelementen vor Ort kann diese Einbauart nicht ausgeschlossen werden.

Die restlichen drei Einbaulagen finden in Lüftungsanlagen Verwendung. Für den stehenden Filtereinbau ergibt sich ein schnellerer Differenzdruckanstieg. Für eine Anlage, in der neue Filter getestet werden, ist der stehende Filtereinbau mit vertikaler Ausrichtung der Abstandshalter zu empfehlen, um innerhalb kurzer Zeit eine hohe Belastung des Filters zu erreichen.

Bei beladenen Filtern ergeben sich geringe Unterschiede in Abhängigkeit der Einbaulage. Die Beladung der Filter hat einen deutlich höheren Einfluß auf den Differenzdruckverlauf der Filter als die Einbaulage. Der letzte Meßpunkt der Kurve gibt den Schadensdifferenzdruck an, danach zeigten die Filter Risse im Filtermedium.

### 11.1.2 Beladungszustand



**Bild 16:** Einfluß der Beladungsmenge von Feinstäuben auf den zeitlichen Differenzdruckverlauf bei gleichem Filtertyp

Beim Beladungszustand sind die Beladungsmenge, die Art des Staubes und die Betriebsbedingungen, unter denen ein Filter beladen wurde, für den Verlauf des Differenzdruckes bei bestimmten Versuchsbedingungen verantwortlich.

In dem vorliegenden Diagramm (Bild 16) werden vier Filter gleicher Bauart miteinander verglichen, drei davon wurden während unterschiedlicher Zeiträume in der gleichen Lüftungsanlage beladen. Das vierte Filter ist unbeladen und dient zum Vergleich.

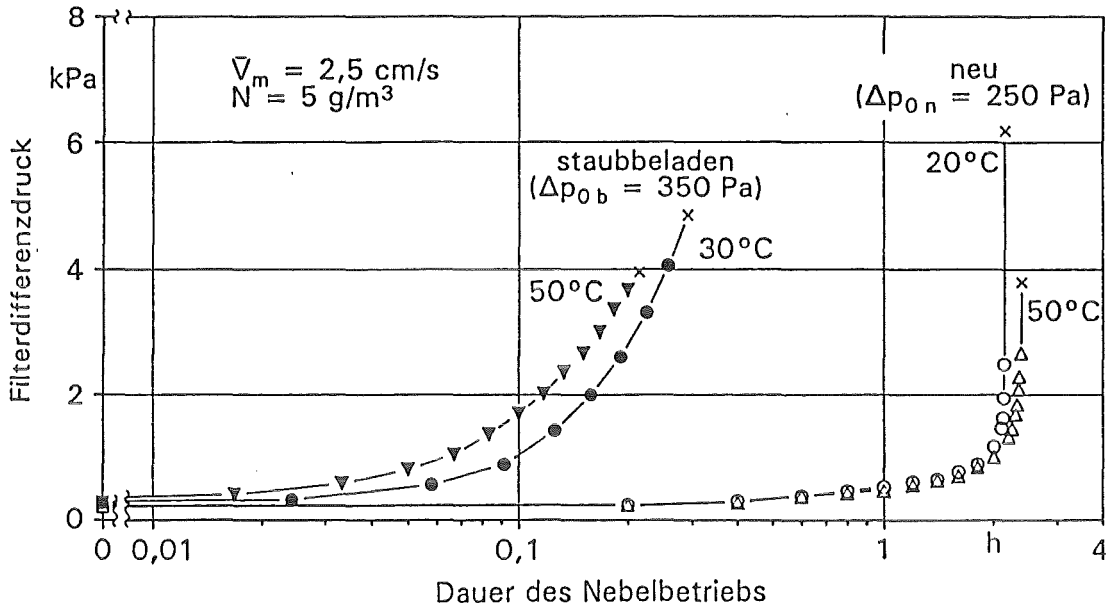
Diese Zusammenstellung macht den Einfluß der Beladungsmenge von Feinstäuben auf den Differenzdruckverlauf deutlich. Da die Beladung in einer konventionellen Lüftungsanlage realisiert wurde, stellt der Differenzdruck bei Nennvolumenstrom ein qualitatives Maß für die Beladung des jeweiligen Filters dar. Die stark unterschiedlichen Beladungsmengen, durch die sich Differenzdrücke von  $Dp_{0b} = 350$  bis 880 Pa ergaben, haben zunächst nur eine Verschiebung des Differenzdruckverlaufs um ca. zehn Minuten zur Folge. Eine relativ geringe Staubbeladung verkürzt im Vergleich zu einem unbeladenen Filter erheblich den Zeitraum bis zum Erreichen des Schadensdifferenzdruckes. Der abweichende Verlauf der Kurve des Filters mit 580 Pa kann mit kleinen Schwankungen beim Beladungsvorgang zusammenhängen. Variationen in der relativen Luftfeuchte oder in der Massenkonzentration des Staubes können zu unterschiedlicher Einlagerung und damit auch zu einem etwas abweichenden Verhalten bei Beaufschlagung mit Nebelnässe führen.

Die Änderungen im Differenzdruckverlauf von staubbeladenen gegenüber unbeladenen Filtern lassen sich durch die Kapillarkondensation des Wassers erklären. Durch die Staubeinlagerung entsteht im Filtermedium und auf der Oberfläche eine sehr große Anzahl von zusätzlichen Kapillaren. Bei geringerer Beladung sind diese Kapillaren relativ groß, sie werden jedoch genauso mit Wasser gefüllt wie die kleineren Kapillaren, die sich im Verlauf einer stärkeren Beladung bilden. Dadurch wird die Porosität in ähnlicher Weise reduziert, wie dies bei stärker beladenen Filtern geschieht.

Die Versuche zeigen deutlich, daß bei Realisierung einer geringen Beladung mit Feinruß die Prüfzeiten erheblich verkürzt werden und die erreichbaren Prüfdifferenzdrücke deutlich steigen.

### **11.1.3 Versuchstemperatur**

Neue Filter wurden bei 20 °C und 50 °C getestet, um den Einfluß der Versuchstemperatur zu untersuchen (Bild 17). Es läßt sich kein signifikanter Unterschied erkennen, der nicht genauso durch die Herstellungscharge oder geringfügige Abweichungen der eingestellten Versuchsparameter zu erklären wäre.



**Bild 17:** Einfluß der Versuchstemperatur auf den zeitlichen Differenzdruckverlauf beladener und neuer Filter

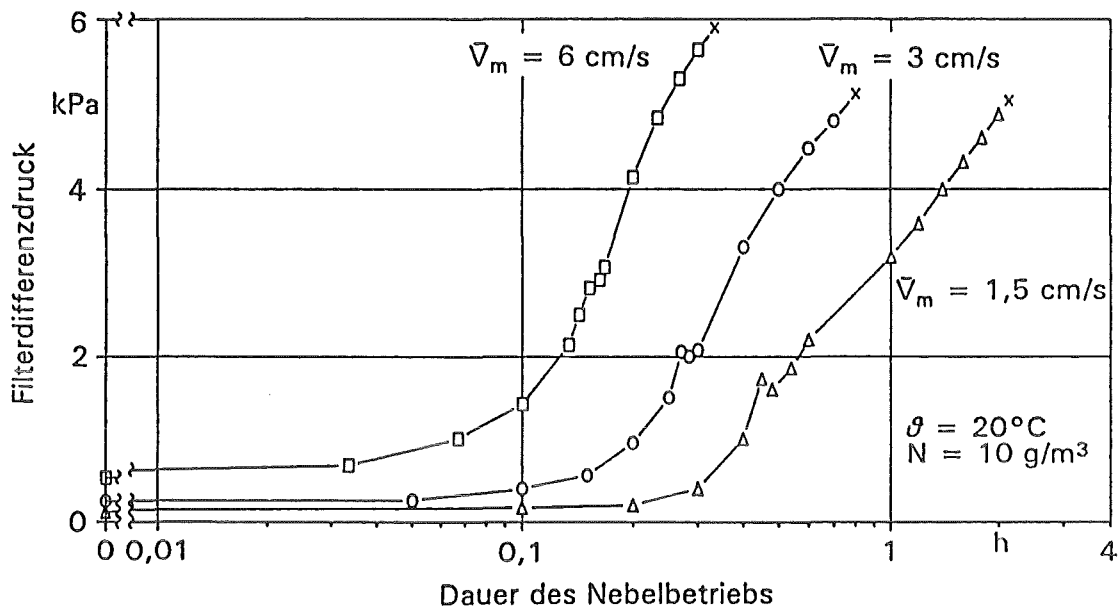
Auch bei zwei vorbeladenen Filtern (Bild 17) ergeben sich für die Versuchstemperaturen von 30 °C und 50 °C keine wesentlichen Unterschiede.

Für die Konzeption der Anlage ist eine vereinfachte Temperaturführung während des Versuchs gerechtfertigt, da die Variation der Versuchstemperatur nur einen sehr geringen Einfluß hat.

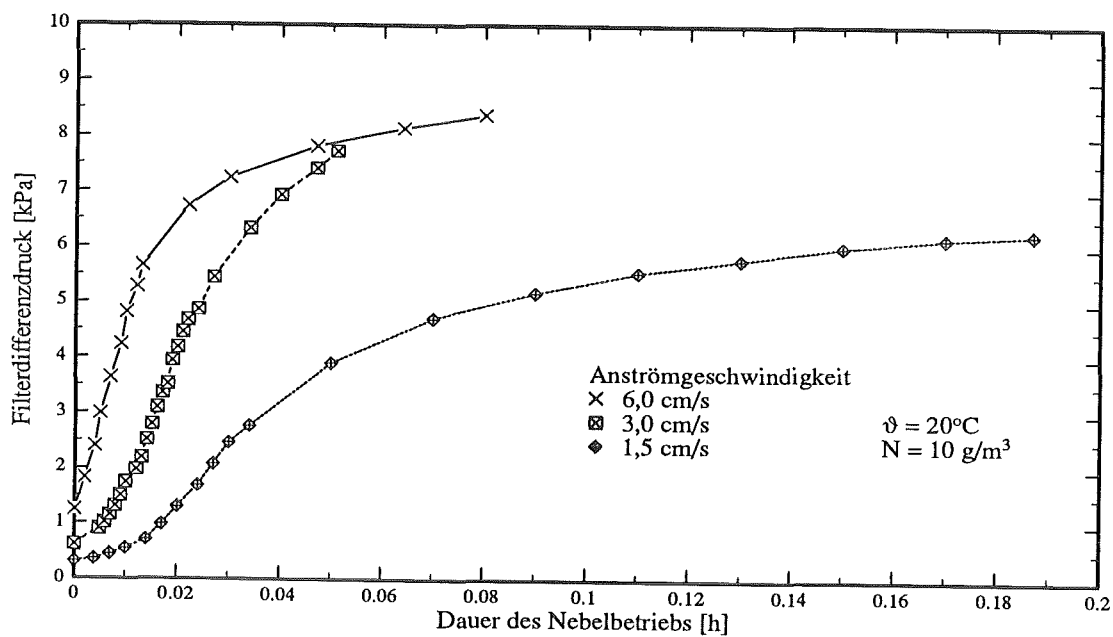
#### 11.1.4 Anströmgeschwindigkeit

Die beiden folgenden Diagramme zeigen die Auswirkungen einer Variation der Anströmgeschwindigkeit bei unbeladenen (Bild 18a) und bei beladenen (Bild 18b) Filtern.

Mit beladenen Filtern und unbeladenen Filtern wurden bei  $10 \text{ g/m}^3$  Nebelnässe Versuche mit dem halben, dem Nennvolumenstrom und dem doppelten Nennvolumenstrom durchgeführt. Durch die Variation des Nennvolumenstroms werden die Strömungsgeschwindigkeiten durch das Filtermedium zwischen  $1,5 \text{ cm/s}$ ,  $3 \text{ cm/s}$  und  $6 \text{ cm/s}$  variiert.



**Bild 18a:** Einfluß der Anströmgeschwindigkeit auf den zeitlichen Differenzdruckverlauf unbelasteter Filter



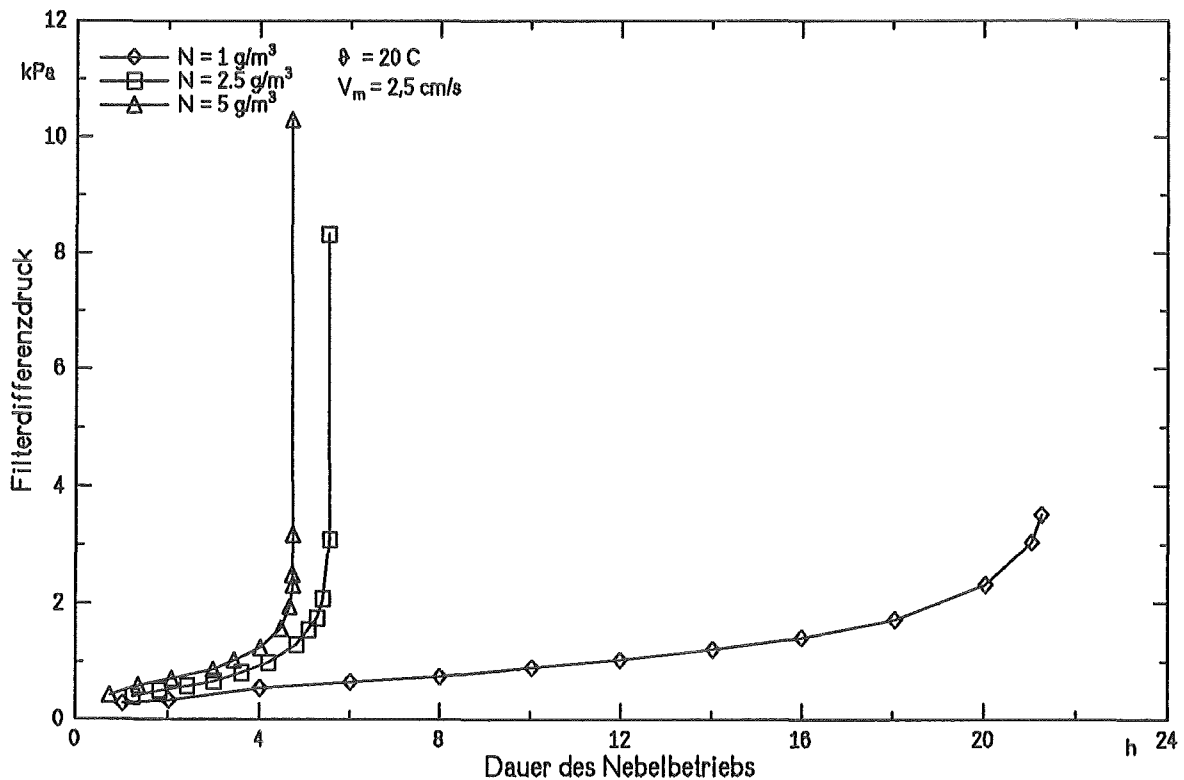
**Bild 18b:** Einfluß der Anströmgeschwindigkeit auf den zeitlichen Differenzdruckverlauf belasteter Filter

unbelasteten Filtern hat die Variation der Anströmgeschwindigkeit eine Verkürzung der Versuchszeit von 2,2 Stunden (halbe Anströmgeschwindigkeit) auf 0,4 Stunden (zweifache Anströmgeschwindigkeit) bewirkt, bis zum Erreichen eines Differenzdruckes von 5 kPa bei Durchströmung mit feuchter Luft (Nebelnässe  $10 \text{ g/m}^3$ ).

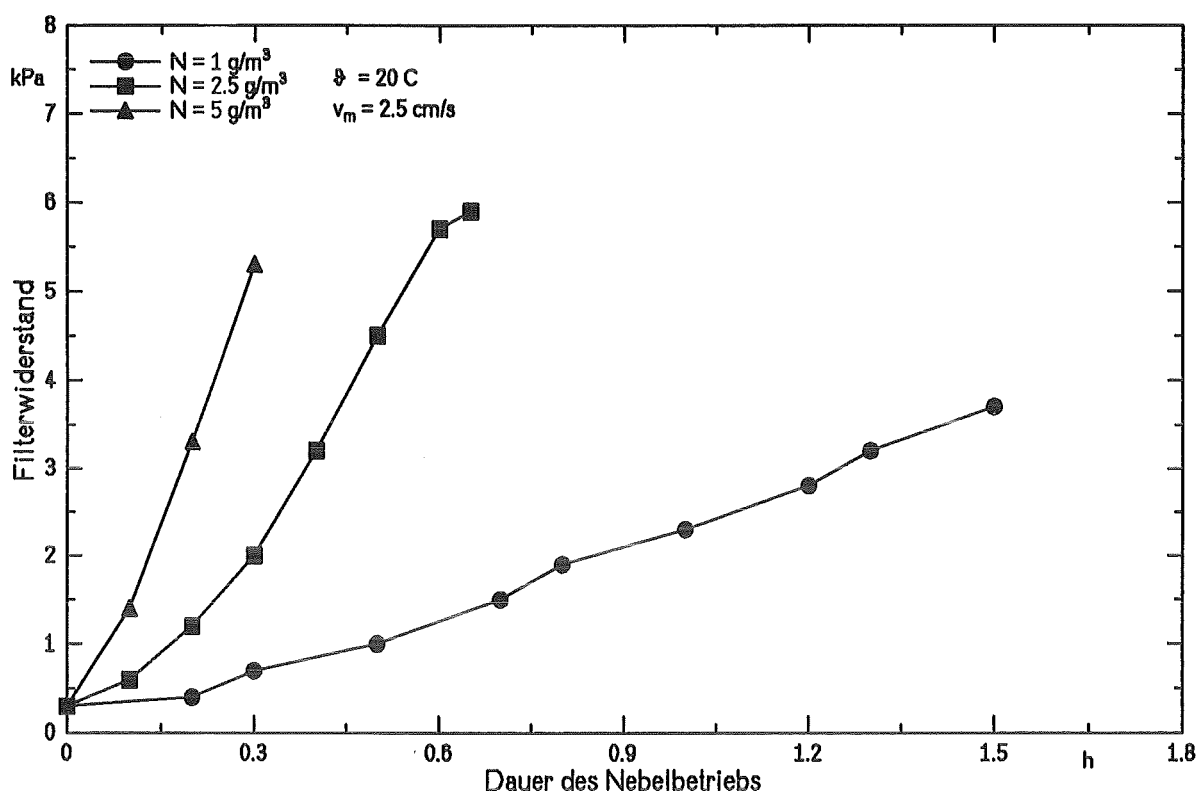
### 11.1.5 Nebelnässe

Um den Einfluß der Nebelnässe auf neue Filter zu untersuchen, wurde jeweils ein Filter gleicher Bauart bei  $1,0 \text{ g/m}^3$ ;  $2,5 \text{ g/m}^3$  und  $5 \text{ g/m}^3$  Nebelnässe an der Versuchsanlage Taifun /8/ getestet (Bild 19a).

Bei  $1,0 \text{ g/m}^3$  Nebelnässe erreichte das Filter nach 21,5 Stunden einen Differenzdruck der zum Versagen des Filters führte. Bei einer Erhöhung auf  $2,5 \text{ g/m}^3$  reduzierte sich dieser Zeitraum auf 5,5 Stunden. Eine weitere Verdoppelung der Nebelkonzentration verkürzte die Versuchszeit auf 4,8 Stunden, bis zum Erreichen eines Differenzdruckes von 5 kPa.



**Bild 19a:** Einfluß der Nebelnässe auf den zeitlichen Differenzdruckverlauf unbeladene Filter

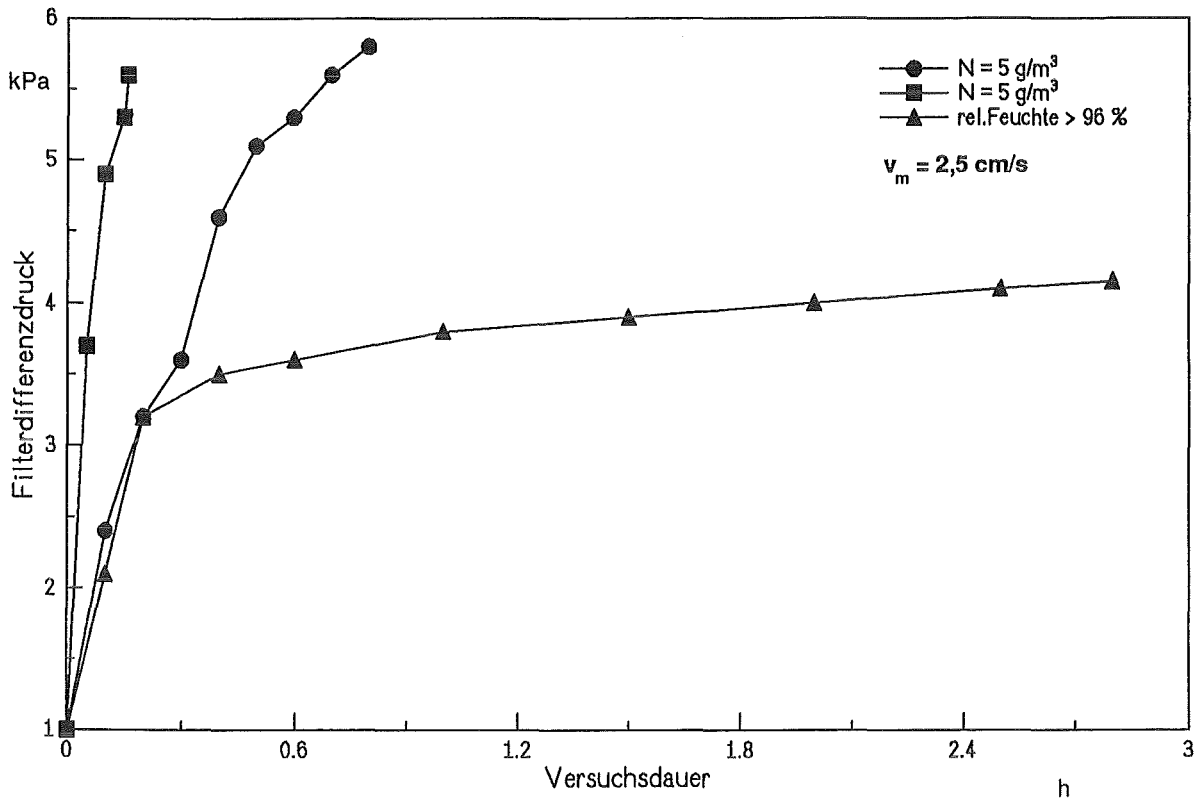


**Bild 19b:** Einfluß der Nebelnässe auf den zeitlichen Differenzdruckverlauf leicht beladener Filter

Bei der Untersuchung des Einflusses der Nebelkonzentration auf den Differenzdruckanstieg wurde zwischen schwach beladenen (Bild 19b) und stark beladenen Filtern unterschieden (Bild 19c). Die für den Vergleich der schwach beladenen Filter herangezogenen Filterelemente wiesen Anfangsdifferenzdrücke zwischen 270 und 350 Pa auf. Durch die Erhöhung der Nebelnässe von 1,0 auf 5,0 g/m<sup>3</sup> verringerte sich die Zeit bis zum Versagen der Filter von 1,75 auf 0,3 Stunden.

Um den Einfluß der Nebelkonzentration auf sehr stark vorbeladene Filter zu untersuchen, wurden beladene Filter mit Nenndifferenzdrücken zwischen 840 und 1100 Pa getestet. (Bild 19c).

Bei einer Vorbeladung von ca. 1000 Pa ergibt sich nur noch eine unwesentliche Verkürzung von 0,3 Stunden auf 0,2 Stunden im Vergleich zu den gering beladenen Filtern mit ca. 300 Pa (Vergleich der Kurven Nebelkonzentration 5 g/m<sup>3</sup> in Bild 19b und 19c).



**Bild 19c:** Einfluß der Nebelnässe auf den zeitlichen Differenzdruckverlauf stark beladener Filter

Ein Vergleich der drei Diagramme zum Einfluß der Nebelnässe zeigt, daß der Differenzdruck bei unbeladenen Filtern (Bild 19a) über einen Zeitraum von ca. vier Stunden nahezu linear und mit geringer Steigung ansteigt. Bei schwacher Beladung (Bild 19b) ist ein anfänglicher Differenzdruckanstieg mit geringer Steigung, falls vorhanden, nur sehr kurz, und bei stark beladenem Filter (Bild 19c) ist er nicht mehr vorhanden. Starke Beladung und hohe Nebelkonzentration führen schließlich zu einem degressiven Verlauf des Differenzdruckanstiegs.

Der anfänglich langsame Anstieg des Differenzdruckes bei unbeladenen Filtern dürfte auf die hydrophobe Ausrüstung des Filtermediums zurückzuführen sein. Die Hydrophobierung erschwert die Einlagerung von Wasser in das Filtervlies. Die Stärke der Imprägnierung des Filtermediums ist nach DIN 25 414, Anhang B2, Punkt 9 definiert.

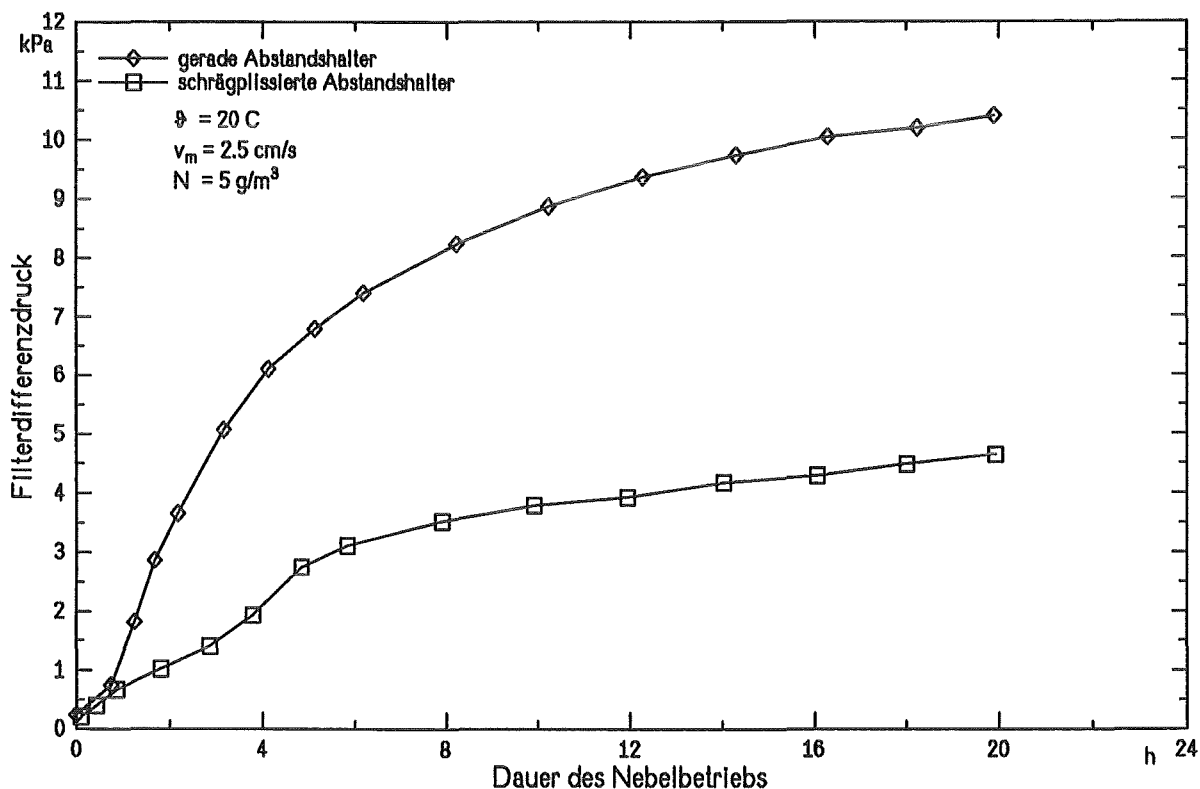
Die Nebelkonzentration hat einen großen Einfluß auf den Differenzdruckverlauf. Aus allen drei Diagrammen geht deutlich hervor, daß Nebelnässen von ca.  $1 \text{ g/m}^3$  sehr lange Versuchszeiten und nur relativ geringe Differenzdrücke bedingen.

Der sich einstellende Differenzdruck hängt neben der Nebelnässe von der Drainage des Filters und vom Wasserdurchlaßgrad des Papiers ab. Der erwünschte schnelle Anstieg des Differenzdruckes ( $< 1 \text{ h}$ ) auf den Prüfdruck bei Nenndurchsatz erfordert Nebelnässen  $> 10 \text{ g/m}^3$  bei unbeladenen Filtern (Bild 18a).

## 11.2 Hochfeste Schwebstofffilter - Typ KfK -

### 11.2.1 Unterschiedliche Abstandshalter

Bei der Entwicklung hochfester Schwebstofffilter wurden Prototypen mit und ohne schrägplissierte Abstandshalter hergestellt. Im Bild 20 sind die Ergebnisse der beiden Filtertypen gegenübergestellt.



**Bild 20:** Vergleich der  $\Delta p$  Zeitverläufe mit geraden und schrägplissierten Abstandshaltern bei Durchströmung mit feuchter Luft (Nebelnässe  $5\text{ g/m}^3$ )

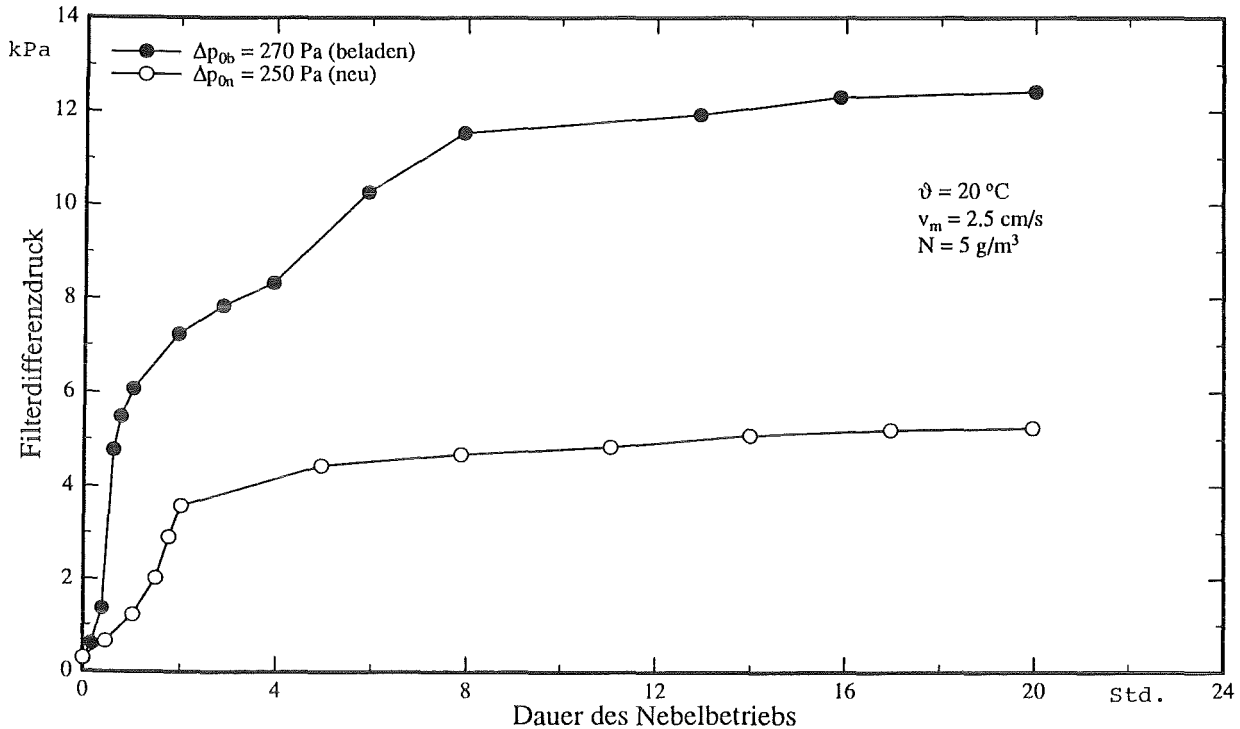
Bei der Betrachtung der beiden Kurven ergibt sich für das Filter mit schrägplissierten Abstandshaltern ein deutlich geringerer Anstieg des Differenzdrucks pro Zeiteinheit als für das Filter mit den geraden Abstandshaltern. Auch der letztendlich erreichte Differenzdruck ist weniger als halb so hoch.

Die Ausführungsform der eingebauten Abstandshalter beeinflusst stark den zeitlichen Verlauf des Differenzdruckes. Das Ergebnis wird auf das geänderte Drainageverhalten der schrägplissierten Abstandshalter zurückgeführt. Die Kanäle der Abstandshalter waren bei diesem Filter auf der Anströmseite ansteigend angeordnet.



## 11.2.2 Beladungszustand

Bild 21 zeigt den Differenzdruckverlauf zweier hochfester Schwebstofffilter (Typ KfK), einem neuen und einem in geringem Maße mit Feinstaub beladenen Filter.



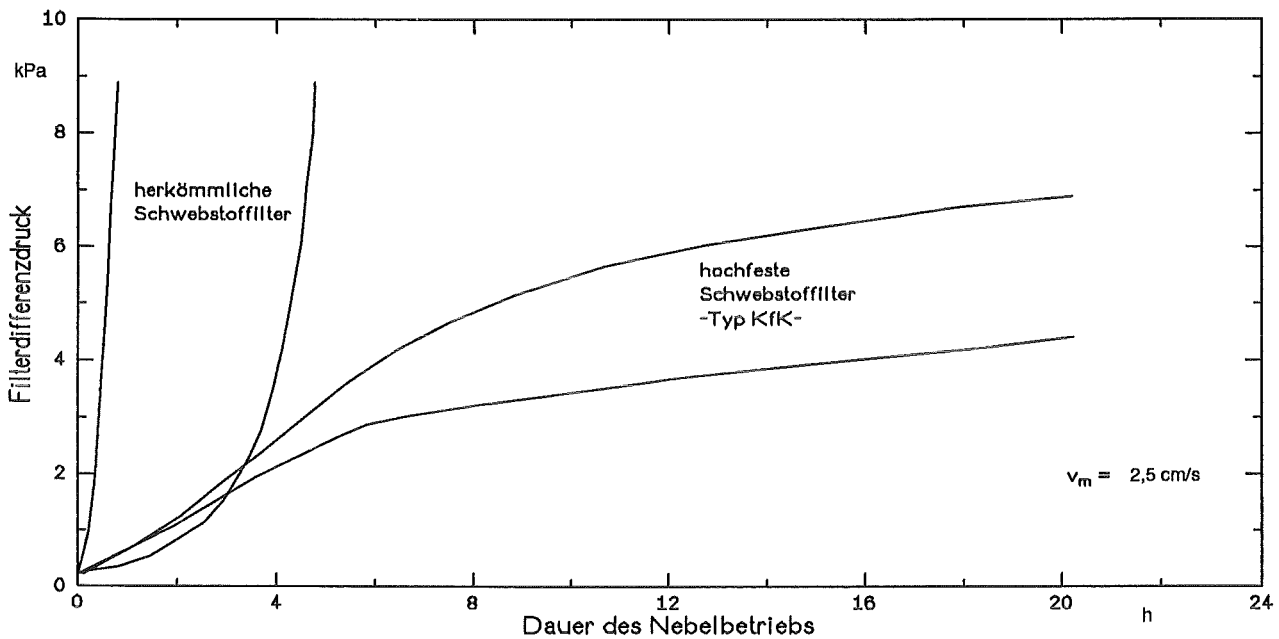
**Bild 21:** Vergleich der  $\Delta p$ -t-Verläufe beladener und unbeladener Filter bei Durchströmung mit feuchter Luft (Nebelnässe  $5\text{ g/m}^3$ )

Die Beanspruchung mit einer Nebelkonzentration von  $5\text{ g/m}^3$  zeigt sehr deutlich den schnellen und hohen Differenzdruckanstieg leicht beladener hochfester Schwebstofffilter (ca.  $270\text{ Pa}$ ). Im Vergleich zu Bild 16 ist deutlich ein analoges Verhalten zu konventionellen Filtern zu erkennen.

Im Gegensatz zum unbeladenen Filter steigt der Differenzdruck in einem Zeitraum von einer Stunde nach Versuchsbeginn bereits sehr stark an und erreicht nach etwa 20 Stunden einen Wert von über  $12\text{ kPa}$ . Dieser Wert stellt hierbei den Gleichgewichtsdifferenzdruck dar und nicht wie bei den herkömmlichen Filtern den Schadensdifferenzdruck. Bei hochfesten Schwebstofffilterelementen Typ KfK war es nicht möglich, ein Filter infolge der Nebeldurchströmung bis zur Versagensgrenze zu belasten.

### 11.2.3 Nebelkonzentration

Der Vergleich von neuen, konventionellen Schwebstofffiltern mit neuen, hochfesten Schwebstofffiltern Typ KfK ist in Bild 22 dargestellt. Da die Differenzdruckverläufe abhängig von Bauart, Herstellung und weiteren Faktoren sein können, sind Bereiche angegeben.



**Bild 22:** Vergleich der Dp Zeitverläufe von neuen konventionellen Schwebstofffiltern und neuen, hochfesten Schwebstofffiltern (Typ KfK)

Das Verhalten der beiden Filtertypen unterscheidet sich sehr stark. Während der Differenzdruck an konventionellen Schwebstofffiltern schon kurz nach Beginn des Versuchs steil ansteigt, bleibt der Differenzdruck hochfester Schwebstofffilter über längere Zeit weitgehend konstant. Unbeladene, hochfeste Schwebstofffilter Typ KfK erreichen in der verwendeten Versuchsanlage einen Enddifferenzdruck von 4-7 kPa. Es konnte über die Nebelkonzentration keine Beanspruchung realisiert werden, die zu einem Versagen der hochfesten Filter führt.

### 11.3. Ölfadentestgerät

Die Erfahrungen am LAF II zeigen, daß der Ölfadentest gemäß DIN 24 184 präzisiert werden sollte. Das Regelwerk schreibt vor, das Filter von oben anzustrahlen und unkontrollierte Luftströmungen abzuschirmen. Diese Vorschrift kann mit unterschiedlichen Anordnungen von Lampe und Abschirmblech erfüllt werden, ist aber in folgender Anordnungsweise besonders effektiv:

Das Abschirmblech läuft in ca. 1 cm Höhe über dem Filter rundum. Die Innenseite des Blechs ist geschwärzt. Es sind mehrere Lampen innerhalb der Abschirmung anzubringen, so daß die gesamte Abströmseite des Filterelements gleichmäßig beleuchtet wird. Es kann ein dem Prüfvolumenstrom nach DIN 24184 entsprechender Luftstrom am höchsten Punkt der Abschirmung abgesaugt werden, es werden allerdings auch sehr gute Ergebnisse ohne Absaugung oder gar ohne Öffnung an der Abschirmung erreicht. Im laminaren Luftstrom sind auch Ölfäden stabil und gut sichtbar, die sich nach ihrem Austritt aus der Filterabströmseite nach außen an den Rand der Abschirmung bewegen.

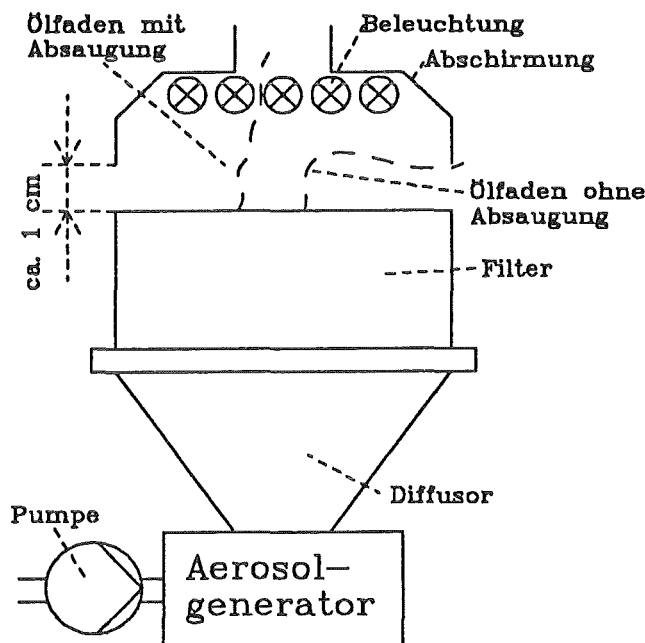


Bild 27: Ölfadentest der Typ- und Serienprüfanlage

## 12            **Literatur**

- /1/            V. Rüdinger, J. G. Wilhelm  
HEPA filter response to high air flow velocities  
CONF 820833, (1983), p.1069
  
- /2/            M. Fronhöfer, M. Neuberger, J. Wilhelm  
Entwicklung hochfester Schwebstofffilter der Klasse S Typ KfK für den Einsatz in  
Lüftungssystemen kerntechnischer Anlagen  
KfK - Bericht 5151, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1993
  
- /3/            DIN 24 184  
Typprüfung von Schwebstofffiltern  
Beuth Verlag, 1990
  
- /4/            DIN 25 414  
Lüftungstechnische Anlagen von Kernkraftwerken  
Beuth Verlag, 1991
  
- /5/            M. Ohlmeyer  
Vor-Ort-Prüfung von Schwebstofffiltern und Entnahme von Sorptionsmaterialien bei  
Jod-Sorptionsfiltern  
Atomenergie-Kerntechnik 40 (1982), S. 259 ff.
  
- /6/            E. H. Carbaugh  
A Survey of HEPA Filter Experiments  
CONF 820833 (1983) p. 790
  
- /7/            J. S. Johnson, u. a:  
The Effect of Age on the Structural Integrity of HEPA Filters  
CONF 880822, (1989), Vol.1, p. 366 - 383
  
- /8/            C.I. Ricketts  
Zum Verhalten von Schwebstofffiltern der Klasse S bei Durchströmung mit Luft hoher  
Feuchte  
KfK - Bericht 5057 , Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1992